

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ

(повна назва інституту/факультету)

КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ АПАРАТУРИ

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Лисенко О.М.
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2019р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації) 172 – Телекомунікації та радіотехніка
(код і назва спеціальності)

на тему: Програмно-апаратні засоби реалізації GigE Vision сумісної відеокамери
на FPGA

Виконав: студент б курсу, групи ДК-81МП
(шифр групи)

_____ Карачок Богдан Павлович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник _____ к.т.н., доц. Варфоломєєв А.Ю. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант _____ _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут/факультет _____ електроніки _____
(повна назва)

Кафедра _____ конструювання електронно-обчислювальної апаратури _____
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) _____ 172 – Телекомунікації та радіотехніка _____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис) (ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Карачок Богдану Павловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: Програмно-апаратні засоби реалізації GigE Vision сумісної відеокамери на FPGA

науковий керівник дисертації Варфоломєєв А.Ю., к.т.н., доц.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «07» листопада 2019 р. №3859-с

2. Строк подання студентом дисертації 16.12.2019р.

3. Об'єкт дослідження: процес передачі відеопотоку у мережі Ethernet з сумісністю до стандарту GigE Vision

4. Предмет дослідження (Вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою): удосконалений метод передачі відеопотоку за технологією GigE Vision, на основі програмно-апаратної реалізації на платформі SoCFPGA Cyclone V.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1.Огляд сучасних рішень. 2.Реалізація блоку захоплення зображень на FPGA. 3. Реалізація GigE Vision сумісної відеокамери у Linux-SocFPGA із застосуванням бібліотеки Aravis. 4.Розробка стартап-проекту.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу
Презентація у форматі PowerPoint

7. Орієнтовний перелік публікацій 1 Публікація

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання 02.09.2019р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Аналіз літературних джерел за темою дисертації	02.09.2019 – 18.09.2019	
2.	Обґрунтування вибору методу та інтерфейсу передачі відеопотоку	19.09.2019 – 10.10.2019	
3.	Аналіз обраного технічного рішення	11.10.2019 – 17.10.2019	
4.	Реалізація GigE Vision сумісної відеокамери на FPGA	18.10.2019 – 24.11.2019	
5.	Розробка стартап-проекту	25.11.2019 – 01.12.2019	
6.	Оформлення дисертації	02.12.2019 – 15.12.2019	

Студент

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається з 91 сторінки, в якій міститься 19 рисунків, 25 таблиць, використано 22 джерела.

Актуальність. На сьогодні потокова передача відео на відстань є доволі перспективним напрямком розвитку інформаційних технологій. Цей напрям міцно зайняв свої позиції у таких сферах людського життя, як: безпека, оборона, промисловість, транспорт та інші. Від якості і швидкості зміни кадрів відеопотоку залежить успішність виконання певних операцій у великих промислових чи технічних системах, зокрема, у системах технічного зору, для розпізнавання тексту, об'єктів, детектування руху та ін. Такиим чином, постає завдання розробки системи надійної передачі відеопотоку у реальному часі із мінімальною затримкою передачі кадрів та високою роздільною здатністю. Одним із варіантів вирішення зазначеної задачі є використання камер комп'ютерного зору на основі GigE Vision технології. Отже, завдання даної дисертаційної роботи - розробка GigE Vision сумісної відеокамери, є важливим та **актуальним** завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційні дослідження проводилися у відповідності з науковими напрямками роботи кафедри конструювання електронно-обчислювальної апаратури КПІ ім. Ігоря Сікорського та пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки України "Інформаційні та комунікаційні технології".

Метою дисертаційної роботи є підвищення надійності передачі відеопотоку і зменшення затримки передачі відеокадрів шляхом розробки власної GigE Vision сумісної відеокамери на базі SoC FPGA Cyclone V та реалізації буферу відеокадрів у DDR3 пам'яті.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися наступні **задачі**:

- розглянуто сучасні стандарти та методи передачі відеопотоку на відстань та розглянуто їх переваги і недоліки;

- реалізовано весь тракт обробки перетворення зображень із відеосенсору у відеопотік як блок захоплення зображень на ПЛІС;
- виконано програмно-апаратну реалізацію GigE Vision сумісної відеокамери;
- розроблено проект стартапу розробки.

Об’єктом дослідження є процес передачі цифрового відеопотоку у мережі Ethernet з сумісністю до стандарту GigE Vision із мінімальною затримкою передачі відеокадрів.

Предметом дослідження є метод підвищення надійності та зменшення затримки в процесі передачі відеокадрів на основі програмно-апаратної реалізації відеокамери відеокадрів, сумісної із стандартом GigE Vision на базі SoC FPGA.

Методи дослідження. Порівняння існуючих рішень, аналіз та синтез програмно-апаратної реалізації, метод дедукції, експериментальні дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження полягає в наступному:

- впроваджено метод підвищення надійності системи передачі відеопотоку шляхом розроблення програмно-апаратної реалізації відеокамери, сумісної із стандартом GigE Vision на базі SoC FPGA
- розроблено структурно-функціональну організацію відеокамери, сумісної із стандартом GigE Vision на FPGA, що дозволило реалізувати її прототип на відлагоджувальній платі DE10-Nano.

Практичне значення отриманих результатів полягає у створенні програмно-апаратної реалізації GigE Vision сумісної відеокамери на FPGA із підвищеною надійністю передачі відеопотоку та низькою затримкою передачі відеокадрів.

Апробація результатів дисертації. Проведена доповідь за темою “Апаратний блок захоплення зображень із відеосенсора реалізований на ПЛІС” на міжнародній науково-технічній конференції “ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи”. – Київ, 2019р.

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 1 друковану працю в збірнику матеріалів конференції:

Карачок Б. П., Варфоломєєв А. Ю Апаратний блок захоплення зображень із відеосенсора реалізований на ПЛІС // Збірник статей XVIII міжнародної науково-технічної конференції “ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи”. – Київ, 2019, - С.52-53.

Ключові слова: GigE Vision, FPGA, Ethernet, відеокамера, відеопотік.

ABSTRACT

The master's thesis consists of 90 pages, which contains 18 drawings, 25 tables, used 22 sources.

The relevant. Today, streaming video at a distance is a very promising area of information technology development. This direction has firmly taken hold of positions in such areas of human life as: security, defense, industry, transport and others. The quality and speed of video frame changes depends on the success of certain operations in large industrial or technical systems, in particular, in systems of vision, for text recognition, objects, motion detection, etc. Thus, the challenge is to develop a real-time, robust video stream system with minimal frame delay and high resolution. One solution to this is to use GigE Vision-based computer vision cameras. Therefore, the task of this thesis is the development of a GigE Vision compatible videocamera, is an important and **relevant** task.

Relationship with working with scientific programs, plans, themes. The dissertation researches in the thesis were carried out in accordance with scientific directions of work of The Department of Design of Electronic Computing Equipment Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute and the priority direction of development of science and technology of Ukraine "Information and Communication Technologies".

The objective of the dissertation is to increase the reliability of video transmission and reduce the latency of video transmission by developing the GigE Vision compatible camera based on SoC FPGA Cyclone V and implementing video buffer in DDR3 memory.

To achieve this **goal**, the following tasks were solved in the work:

- modern standards and methods of transmission of video stream over a distance are considered and their advantages and disadvantages are considered;
- implemented the entire processing path of converting images from a video sensor to a video stream as an image capture unit on the FPGA;
- software and hardware implementation of GigE Vision compatible camcorder is completed;
- the project of a startup of development is developed.

The object of the study is the process of transmitting digital video over Ethernet with GigE Vision compatibility, with a minimum latency of video transmission.

The subject of the study is a method of increasing the reliability and reducing the latency in the process of transmission of video frames based on software-hardware implementation of video camera compatible with GigE Vision standard based on SoC FPGA.

Research methods. Comparison of existing solutions, analysis and synthesis of hardware and software implementation, deduction method, experimental studies.

The scientific novelty of the results of the study is follows:

- the method of increasing the reliability of the video stream transmission system by developing software and hardware implementation of a video camera compatible with the GigE Vision standard based on SoC FPGA is introduced

- a structural and functional organization of a video camera compatible with the GigE Vision standard on FPGA was developed, which made it possible to implement its prototype on a DE10-Nano debug board.

The practical significance of the results is to build a hardware-based implementation of a GigE Vision-compatible FPGA camcorder with increased video transmission reliability and low frame rate latency.

Approbation of the results of the dissertation. A report on the topic “Hardware block of image capture from a video sensor implemented on FPGA” at the international scientific and technical conference “INSTRUMENTATION: Status and Perspectives”. - Kyiv, 2019.

Publications. According to the dissertation materials, 1 printed work was published in the conference proceedings collection:

Karachok B.P., Varfolomeyev A. Yu. A hardware block for image capture from a video sensor implemented on FPGA // Proceedings of the XVIII International Scientific and Technical Conference " INSTRUMENTATION: Status and Perspectives". - Kyiv, 2019, p.52-53.

Keywords: GigE Vision, FPGA, Ethernet, videocamera, video stream.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень	12
ВСТУП.....	13
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	16
1.1 Обґрунтування вибору методів дослідження.....	16
1.2 Проблема передачі потокового відео між територіально розподіленими джерелом відеосигналу і приймачем.....	21
1.3 Класифікація технологій передачі відео.....	22
1.4. Стандарт GigE Vision.....	30
1.5. Аналіз відомих технічних рішень за результатами патентного пошуку	36
Висновки по розділу 1	41
РОЗДІЛ 2 РЕАЛІЗАЦІЯ БЛОКУ ЗАХОПЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ НА ПЛІС	42
2.1 Прийом та первинна обробка кадрів із відеосенсору у FPGA.....	44
2.2 Процес взаємодії FPGA, DDR3 та ARM процесору під управлінням ОС Linux	45
2.3 Створення драйверу Linux для SoC Cyclone V	47
2.4 Збірка та завантаження Linux на SoC Cyclone V	52
Висновки по розділу 2	58
РОЗДІЛ 3 РЕАЛІЗАЦІЯ GIGE VISION СУМІСНОЇ ВІДЕОКАМЕРИ У LINUX-SOCFPGA ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ БІБЛІОТЕКИ ARAVIS	59
3.1 Особливості реалізації GigE Vision на SoC Cyclone V.....	59
3.2 Бібліотека Aravis та модуль Fakecam	60
3.3 Аналіз отриманих результатів	67
Висновки по розділу 3	68

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ НА ОСНОВІ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ	70
4.1 Опис ідеї проекту	70
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	72
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	72
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	79
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	81
Висновки по розділу 4	85
Висновки	86
Список використаної літератури	88
ДОДАТОК А Копія публікації за темою дисертації	91

Перелік умовних позначень

ПЛІС – програмована логічна інтегральна схема (з англ. “FPGA” – field programmable gate array)

SoC – система на кристалі (з англ. “SoC” – System on a Chip)

HPS – вбудоване процесорне ядро (з англ. Hardware Processor System)

ARM – (з англ. “Advanced RISC Machine”) 32-бітна RISC архітектура процесорів, яку розробила компанія ARM Limited

Ethernet – протокол кабельних комп'ютерних мереж (сімейство протоколів стандарту IEEE 802.3)

TCP – протокол передачі даних у мережі Ethernet із встановленням з'єднання

UDP – протокол передачі даних у мережі Ethernet без встановлення з'єднання

GigE Vision – стандарт потокової передачі відео у мережі Ethernet

ПЗ – програмне забезпечення

ПК– персональний комп'ютер

ВСТУП

Актуальність. В наш час системи технічного зору з кожним роком набувають значної популярності. Вони знайшли своє місце у системах відеоспостереження, системах контролю за виробничим процесом, для контролю за громадським порядком, у якості засобів виявлення рухомих об'єктів. Перед людиною постає питання створення найбільш якісної та надійної системи передавання відеопотоку на відстані для можливості контролювати і миттєво реагувати на певні процеси. Це питання потребує дослідження, адже сам процес передачі відеопотоку має у собі проблеми і труднощі, такі як низька пропускна здатність каналу передачі, висока затримка передачі кадрів, пошкодження даних внаслідок зовнішніх завад, зниження якості зображення внаслідок його стиснення, та ін. Технологія GigE Vision є одним із варіантів вирішення вищезгаданих проблем, які виникають в процесі передачі відеопотоку. Тому розробка GigE Vision сумісної відеокамери є важливим та **актуальним** завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційні дослідження проводилися у відповідності з науковими напрямками роботи кафедри конструювання електронно-обчислювальної апаратури КПІ ім. Ігоря Сікорського та пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки України “Інформаційні та комунікаційні технології”.

Метою дисертаційної роботи є підвищення надійності передачі відеопотоку і зменшення затримки передачі відеокадрів шляхом розробки власної GigE Vision сумісної відеокамери на базі SoC FPGA Cyclone V та реалізації буферу відеокадрів у DDR3 пам'яті.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися наступні **задачі**:

- Розглянуто сучасні стандарти та методи передачі відеопотоку на відстань та розглянуто їх переваги і недоліки;
- Реалізовано весь тракт обробки та перетворення зображень із відеосенсору у відеопотік як блок захоплення зображень на ПЛІС;

- Виконано програмно-апаратну реалізацію GigE Vision сумісної відеокамери;
- Розроблено проект стартапу розробки.

Об’єктом дослідження є процес передачі цифрового відеопотоку у мережі Ethernet з сумісністю до стандарту GigE Vision із мінімальною затримкою передачі відеокадрів.

Предметом дослідження є метод підвищення надійності та зменшення затримки в процесі передачі відеокадрів на основі програмно-апаратної реалізації відеокамери відеокадрів, сумісної із стандартом GigE Vision на базі SoC FPGA.

Методи дослідження. Порівняння існуючих рішень, аналіз та синтез програмно-апаратної реалізації, метод дедукції, експериментальні дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження полягає в наступному:

- Впроваджено метод підвищення надійності системи передачі відеопотоку шляхом розроблення програмно-апаратної реалізації відеокамери, сумісної із стандартом GigE Vision на базі SoC FPGA
- Розроблено структурно-функціональну організацію відеокамери, сумісної із стандартом GigE Vision на FPGA, що дозволило реалізувати її прототип на відлагоджувальній платі DE10-Nano.

Практичне значення отриманих результатів полягає у створенні програмно-апаратної реалізації GigE Vision сумісної відеокамери на FPGA із підвищеною надійністю передачі відеопотоку та низькою затримкою передачі відеокадрів.

Апробація результатів дисертації. Проведена доповідь за темою “Апаратний блок захоплення зображень із відеосенсора реалізований на ПЛІС” на міжнародній науково-технічній конференції “ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи”. – Київ, 2019р.

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 1 друковану працю в збірнику матеріалів конференції:

Карачок Б. П., Варфоломєєв А. Ю Апаратний блок захоплення зображень із відеосенсора реалізований на ПЛІС // Збірник статей XVIII міжнародної науково-технічної конференції “ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи”. – Київ, 2019, - С.52-53.

Структура дисертаційної роботи містить вступ, 4 розділи, загальні висновки, перелік використаної літератури та додаток - копію публікації по роботі.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Обґрунтування вибору методів дослідження

Метод — це сукупність прийомів або операцій практичного або теоретичного освоєння дійсності, підпорядкованих вирішенню конкретної задачі. Метод являє собою вихідний пункт та умову майбутніх досліджень.

У науковому дослідженні розглядають два рівні: 1) емпіричний, де відбувається процес накопичення фактів; 2) теоретичний — досягнення синтезу знань.

Загальні методи дослідження розділяють на три групи [1]:

- методи емпіричного дослідження;
- методи, що застосовуються на емпіричному та теоретичному рівнях;
- методи теоретичного дослідження.

Методи емпіричного дослідження.

Спостереження — систематичне цілеспрямоване вивчення об'єкта. Спостереження повинне відповідати таким вимогам:

- а) завчасному задуму (спостереження провадиться для певного, чітко поставленого завдання);
- б) плановірності (виконується за планом, складеним відповідно до завдання спостереження);
- в) цілеспрямованості (спостерігаються лише певні сторони явища, котрі викликають інтерес при дослідженні);
- г) активності (спостерігач активно шукає потрібні об'єкти, риси явища);
- д) систематичності (спостереження ведеться безперервно або за певною системою).

Порівняння — процес встановлення подібного чи відмінного предметів та явищ дійсності, а також знаходження спільного, притаманного кільком об'єктам.

Метод порівняння вимагає виконання таких вимог:

- а) порівнюються тільки ті явища, між якими можлива деяка об'єктивна спільність;
- б) порівняння має здійснюватися за найбільш важливими, суттєвими рисами.

Різні об'єкти чи явища можуть порівнюватися безпосередньо або опосередковано через їх порівняння з будь-яким іншим об'єктом (еталоном). У першому випадку отримують якісні результати. Порівняння об'єктів з еталоном дає можливість отримати кількісні характеристики. Такі порівняння називаються вимірюванням.

Вимірювання — визначення числового значення величини через одиницю виміру. Вимірювання має такі основні елементи: об'єкт вимірювання, еталон, вимірювальні прилади, метод вимірювання.

Вимірювання розвинулося з операції порівняння, проте воно — більш потужний і універсальний пізнавальний засіб.

Експеримент — метод вивчення об'єкта, згідно з яким дослідник активно і цілеспрямовано впливає на нього створенням штучних умов або використанням природних умов, необхідних для виявлення певної властивості.

Переваги експериментального вивчення об'єкта порівняно зі спостереженням такі:

- а) у процесі експерименту можна вивчати явище «у чистому вигляді», звільнившись від побічних факторів, які затінують основний процес;
- б) в експериментальних умовах можна дослідити властивості об'єктів;
- в) повторюваність експерименту: можна проводити досліді стільки разів, скільки це потрібно.

Експеримент проводять у таких випадках:

- при спробі виявлення раніше невідомих властивостей об'єкта;
- при перевірці правильності теоретичних побудов;
- при демонструванні явища.

Методи, що застосовуються на емпіричному та теоретичному рівнях досліджень.

Абстрагування — відхід у думці від несуттєвих властивостей, зв'язків, відношень предметів і виділення декількох рис, котрі цікавлять дослідника.

Абстрагування дає змогу замінити у пізнанні складне простим, але таким простим, котре відбиває основне в цьому складному.

Аналіз і синтез.

Аналіз — метод пізнання, який дає змогу поділяти предмети дослідження на складові частини (природні елементи об'єкта або його властивості і відношення).

Синтез, навпаки, припускає з'єднання окремих частин чи рис предмета в єдине ціле. Аналіз та синтез взаємопов'язані, вони являють собою єдність протилежностей.

Аналіз і синтез бувають:

- а) прямим, або емпіричним (використовується для виокремлення частин об'єкта, виявлення його властивостей, найпростіших вимірювань і т. ін.);
- б) зворотним, або елементарно-теоретичним (базується на деяких теоретичних міркуваннях стосовно причинно-наслідкового зв'язку різних явищ або дії будь-якої закономірності. При цьому виділяються та з'єднуються явища, які здаються суттєвими, а другорядні ігноруються);
- в) структурно-генетичним (вимагає виокремлення у складному явищі таких елементів, які мають вирішальний вплив на всі інші сторони об'єкта).

Індукція та дедукція.

Дедуктивною звуть таку розумову конструкцію, у котрій висновок щодо якогось елементу множини робиться на підставі знання загальних властивостей всієї множини. Змістом дедукції як методу пізнання є використання загальних наукових положень при дослідженні конкретних явищ.

Під *індукцією* розуміють перехід від часткового до загального, коли на підставі знання про частину предметів класу робиться висновок стосовно класу в цілому. Дедукція та індукція — взаємо протилежні методи пізнання.

Моделювання — метод, котрий ґрунтується на використанні моделі як засобу дослідження явищ і процесів природи. Під моделями розуміють системи, що замінюють об'єкт пізнання і служать джерелом інформації стосовно нього. Моделі поділяють на два види: матеріальні та ідеальні. Матеріальні моделі втілюються у певному матеріалі — дереві, металі, склі та ін. Ідеальні моделі фіксуються в таких наочних елементах, як креслення, рисунок, схема, комп'ютерна програма тощо.

Метод моделювання має таку структуру: а) постановка завдання; б) створення або вибір моделі; в) дослідження моделі; г) перенесення знань із моделі на оригінал.

Методи теоретичних досліджень.

Ідеалізація — це конструювання подумки об'єктів, які не існують насправді або практично не здійсненні (наприклад, абсолютно тверде тіло, абсолютно чорне тіло, лінія, площа). Мета ідеалізації: позбавити реальні об'єкти деяких притаманних їм властивостей і наділити (подумки) ці об'єкти певними нереальними і гіпотетичними властивостями.

Формалізація — метод вивчення різноманітних об'єктів шляхом відображення їхньої структури у знаковій формі за допомогою штучних мов, наприклад мовою математики.

Переваги формалізації:

- а) вона забезпечує узагальненість підходу до розв'язання проблем;
- б) символіка надає стислості та чіткості фіксації значень;
- в) однозначність символіки (немає багатозначності звичайної мови);
- г) дає змогу формувати знакові моделі об'єктів та замінювати вивчення реальних речей і процесів вивченням цих моделей.

Аксиоматичний метод — метод побудови наукової теорії, за якого деякі твердження приймаються без доведень, а всі інші знання виводяться з них відповідно до певних логічних правил.

Гіпотеза висувається з надією на те, що вона колись, якщо не цілком, то хоча б частково, стане достовірним знанням. Гіпотези носять імовірнісний характер. Гіпотеза може узгоджуватися з іншими науковими системами або суперечити їм. Ні те, ні інше не дає підстав відкинути гіпотезу або прийняти її. Розвиток гіпотези відбувається за трьома стадіями:

- а) накопичення фактичного матеріалу і висловлювання на його основі припущень;
- б) формування гіпотези, тобто виведення наслідків із зробленого припущення, розгортання на його основі прийнятної теорії;
- в) перевірка отриманих результатів на практиці.

Якщо під час перевірки наслідок відповідає дійсності, то гіпотеза перетворюється на наукову теорію.

Системний підхід полягає у комплексному дослідженні великих і складних об'єктів (систем), дослідженні їх як єдиного цілого із узгодженим функціонуванням усіх елементів і частин. З огляду на даний принцип, треба вивчити кожен елемент системи у його зв'язку та взаємодії з іншими елементами, виявити вплив властивостей окремих частин системи на її поведінку в цілому і визначити оптимальний режим її функціонування.

Ускладнення задач та об'єктів дослідження викликає необхідність розподілення (*декомпозиції*) системи на системи нижчого рівня (підсистеми), які досліджуються автономно, з обов'язковим урахуванням подальшого узгодження цілей кожної підсистеми із загальною ціллю системи. Таким чином, декомпозиція наперед визначає створення ієрархії системи. Застосування декомпозиції зумовлене не тільки неможливістю охопити неосяжне, але й

різнорідністю елементів складної системи і, як наслідок, необхідністю залучення фахівців різного профілю.

Для вирішення поставленої задачі в даній роботі необхідно використовувати такі методи досліджень.

Порівняння. Даний метод дозволяє розглянути переваги і недоліки існуючих варіантів рішення поставленої задачі та виокремити спільні та відмінні риси кожного із них.

Аналіз та синтез. Ці методи дозволяють розглянути дві складових запропонованого рішення поставленої задачі – програмну та апаратну. Аналіз дозволяє розглянути функціонування кожної складової окремо. Синтез допомагає розглянути взаємодію програмної та апаратної частин між собою у єдиній системі.

Дедукція. Використовується для створення на основі існуючих теоретичних та практичних знань за темою дисертації власного варіанту рішення науково-прикладної задачі.

Експеримент. Використовується для перевірки розробленої програмно-апаратної реалізації GigE Vision сумісної відеокамери в реальних умовах.

1.2. Проблема передачі потокового відео між територіально розподіленими джерелом відеосигналу і приймачем

На даний час, промислові камери широко використовуються в розпізнаванні об'єктів, інспекції виробництва, контролю якості, для виділення границь об'єктів, інтелектуальних транспортних перевезень, досліджень матеріалів, судово-медичної експертизи, SMT (поверхнева технологія, технологія поверхневого монтажу) огляду і аналізу, друку, інспекції текстилю, медичному тестуванні та іншому застосуванні. Промислові камери замінюють людське око, приносячи безліч незамінних зручностей у виробництво і тестування.

Однак більшість промислових камер на ринку на даний час мають малу відстань передачі даних, низьку роздільну здатність, великі розміри і вагу, не можуть задовольнити вимогам надійної високошвидкісної передачі. Тому постала нагальна потреба в технічному рішенні, яке може вирішити вищезазначені проблеми.

1.3. Класифікація технологій передачі відео

У порівнянні з традиційними технологіями передачі, такими як технологія 100M Ethernet, інтерфейс RS232 та інші інтерфейси, призначені для передачі звичайних даних, існують технології високошвидкісної передачі відеопотоку, такі як USB, Camera Link, інтерфейс IEEE 1394, CoaXPress, GigE Vision тощо. Вони можуть забезпечити більшу пропускну здатність і краще задовольнити великі потреби у даних високої чіткості та великих даних. У порівнянні з іншими інтерфейсами, інтерфейс Gigabit Ethernet має переваги великої пропускну здатності, довгої відстані передачі та оновлення до 10 Gigabit Ethernet.

Розглянемо існуючі на сьогодні рішення для організації каналу передавання відео:

- **Аналогові рішення**

Передача аналогового відеосигналу стандарту PAL/SECAM по коаксіальному кабелю.

Переваги: передача окремих складових відеосигналу - одна для представлення яскравості і 2 для представлення інформації про колір, і як наслідок малі витрати на обробку вхідного відеосигналу.

Недоліки: низька стійкість до зовнішніх завад, невелика протяжність каналу передачі,

- **Цифрові:**

Передача відеосигналу у вигляді потоку бітів. Зображення формується масивом пікселів. Використовуються різні формати кодування зображення.

Переваги: дозволяють реалізувати передачу відеоданих із значною швидкістю і високим ступенем захищеності даних від пошкодження

Недоліки: вимагають кодування/декодування, певних математичних обчислень, і як наслідок, збільшене використання ресурсів

- *Інтерфейс USB3.0*

Стандарт USB 3.0 став стандартом споживчого ринку. Більшість комп'ютерів на сьогодні оснащені портами USB 3.0. Специфікація USB3 Vision була офіційно прийнята в 2013р. [2]. Вона відповідає всім необхідним вимогам передачі відео в системах машинного зору.

Швидкість передачі даних, яку забезпечує USB 3.0, в 9 разів вище в порівнянні з попереднім стандартом USB 2.0. Він також має більш низький рівень помилок передачі відео, дає менше затримки і спотворення, підтримує більш високу потужність живлення, дозволяє використовувати більш довгі кабелі. У USB 3.0 управління живленням реалізовано на рівні з'єднання - ініціювати перехід в режим енергозбереження може як хост-комп'ютер, так і сам пристрій (що актуально для вуличних камер і камер з живленням від акумуляторної батареї).

Можна виділити кілька ключових переваг USB 3.0. Реальна пропускна здатність може досягати 350 Мбайт/с без використання фреймграббера. Інтерфейс підтримує технологію Plug-and-Play. Технологія Direct Memory Access (DMA) дозволяє знизити навантаження на процесор при передачі даних до мінімуму і масштабувати обчислювальні ресурси відповідно до потреб.

Швидкість: 350 Мбайт/с.

Довжина кабелю: до 8 м.

Переваги: повсюдне поширення, простота використання (Plug-and-Play), низьке навантаження на процесор, низький рівень затримок передачі і спотворень, керування живленням і енергозберігаючі режими, передача даних і живлення по одному кабелю.

Недоліки: невелика довжина каналу передачі, складна організація багатокамерного режиму зйомки.

- *Інтерфейс FireWire*

FireWire (також відомий як IEEE 1394) багато років був популярним цифровим інтерфейсом [3]. Він підтримує підключення відеокамер з протоколом обміну DCAM, забезпечує відмінну сумісність програмного забезпечення та пристроїв і дає необхідну потужність живлення на кожному порту. А ринок досі пропонує широкий вибір камер.

Проте частка ринку пристроїв, що використовують стандарт FireWire, знижується. На це є кілька причин. Пропускна здатність не перевищує 64 Мбайт / с (IEEE 1394b), що різко обмежує роздільну здатність і частоту кадрів в секунду. Довжина кабелю всього 4,5 м. Стандарт FireWire йде зі споживчого ринку, як результат - зростання цін, невисокий вибір обладнання та програмного забезпечення.

Загалом, при організації нових систем машинного зору не рекомендується розглядати FireWire в якості інтерфейсу передачі відео.

Швидкість: 1 IEEE 1394a - максимум 32 Мбайт / с 1 IEEE 1394b - максимум 64 Мбайт / с

Довжина кабелю: до 4,5 м.

Переваги: низьке навантаження на процесор, низький рівень затримок передачі і спотворень.

Недоліки: скорочення числа підтримуваного устаткування і ПЗ, мала довжина каналу передачі, низька швидкість передачі

- *Інтерфейс CoaXPress*

Цифровий стандарт інтерфейсу, розроблений для високошвидкісної передачі зображень у програмах машинного зору [4] . Назва є контамінацією з «експрес» (потяг) і « коаксіальний » , щоб підкреслити CoaXPress швидше , ніж в інших стандартах (наприклад , Camera Link) і використовує 75 Ом коаксіальний кабель

в якості середовища фізичної передачі. CoaXPress в основному використовується в додатках цифрових зображень, але також підходить для високошвидкісної передачі універсальних цифрових даних.

Інтерфейс, що базується на стандарті CoaXPress 1.0/1.1, підтримує швидкість передачі даних до 6,25 Гбіт/с [5]. Швидкість передачі даних згідно з новим стандартом CoaXPress вдвічі вище і може досягати 12,5 Гбіт/с. Максимальна довжина каналу передачі даних складає 100 м.

Для передачі даних на ПК за цим протоколом обов'язково повинна бути встановлена інтерфейсна плата. На відміну від USB або GigE, CoaXPress поки ще не став стандартним інтерфейсом ПК. Ще однією причиною використання інтерфейсної плати є зниження навантаження на центральний процесор: без неї передача даних зображення на високій швидкості, характерною для CoaXPress, створить істотне навантаження на процесор ПК. Однак при використанні цього додаткового апаратного компонента ресурси процесора будуть повністю доступні для вирішення задач обробки зображень. Останнє, але не менш важливе - на інтерфейсній платі також знаходяться роз'єми і гнізда CoaXPress. Для CoaXPress 1.0 / 1.1 використовуються роз'єми типу BNC і DIN 1.0 / 2.3, тоді як для нового стандарту CoaXPress 2.0 використовуються роз'єми Micro-BNC. Ще одна причина використання додаткової плати полягає в тому, що роз'єми і гнізда не настільки поширені: для CoaXPress 1.0 / 1.1 використовуються роз'єми BNC і DIN 1.0 / 2.3, а для нового стандарту CoaXPress 2.0 - Micro-BNC.

Переваги: висока швидкість передачі даних, значна дальність каналу передачі.

Недоліки: коаксіальний кабель у якості середовища передачі, для передачі даних на ПК вимагає встановлення спеціальної інтерфейсної плати (не є стандартним інтерфейсом на відміну від USB чи GigE Vision).

- Інтерфейс SDI

Послідовний цифровий інтерфейс SDI (serial digital interface) - це сімейство цифрових відеоінтерфейсів, які були першими стандартизовані SMPTE (Товариством інженерів кіно і телебачення) в 1989 році [6]. Наприклад, ITU-R BT.656 і SMPTE 259M визначають цифрові відеоінтерфейси, використовувані в телевізійному мовленні. Відповідний стандарт, відомий як послідовний інтерфейс високої чіткості (HD-SDI), описаний в стандарті SMPTE 292M; він забезпечує номінальну швидкість передачі даних в 1,485 Гбіт / с.

Додаткові стандарти SDI були введені для підтримки зростаючої роздільної здатності відео (HD, UHD і більше), частоти кадрів, стереоскопічного (3D) відео і глибини кольору. Подвійний канал HD-SDI складається з пари каналів SMPTE 292M і описаний в стандарті SMPTE 372M в 1998 році; він забезпечує номінальну швидкість 2,970 Гбіт / с і використовується в додатках (таких як цифровий кінотеатр або HDTV 1080P), які вимагають більшої точності і дозволу, чим може забезпечити стандартне HDTV. 3G-SDI (описаний в SMPTE 424M) складається з одного послідовного каналу 2,970 Гбіт / с, який дозволяє замінити собою подвійний канал HD-SDI. 19 березня 2015 року було опубліковано стандарти 6G-SDI і 12G-SDI.

Ці стандарти використовуються для передачі нестиснених, незашифрованих цифрових відеосигналів (опціонально включають в себе вбудований звук і часовий код) між телевізійним обладнанням; вони можуть також використовуватися для передачі пакетованих даних. Довжина коаксіальних варіантів стандартів, як правило, не перевищує 300 метрів. Оптичними варіантами специфікації, такі як 297M, допускають передачу на далекі відстані, обмежені тільки максимальною довжиною оптоволокна і повторювачами. SDI і HD-SDI зазвичай доступні тільки в професійному обладнанні, оскільки різні ліцензійні угоди обмежують використання незашифрованих цифрових

інтерфейсів, таких як SDI, що забороняє їх використання в споживчому обладнанні.

У всіх стандартах інтерфейсу SDI використовуються (один або більше) коаксіальні кабелі з хвильовим опором 75 Ом і роз'ємами BNC. Це той же тип кабелю, який використовувався в обладнанні аналогового відео, що потенційно спрощує модернізацію (хоча при більш високих бітрейтах і великих довжинах можуть знадобитися кабелі більш високої якості). Амплітуда сигналу на виході джерела становить 800 мВ ($\pm 10\%$) пік-пік; через загасання в кабелі на приймальній стороні може бути виміряна набагато меншу напругу. Використання еквалізації в приймачі уможливорює передачу по SDI 270 Мбіт / с на відстань понад 300 метрів без використання повторювачів, але все ж коротші кабелі. Для швидкостей для передачі відео в HD довжина кабелю зазвичай обмежується 100 метрами.

Через SDI передаються стиснені сигнали цифрових компонентів. Дані кодуються в форматі NRZI, а зсувний регістр лінійної зворотного зв'язку використовується для скремблювання даних, щоб зменшити ймовірність того, що в переданій послідовності будуть присутні довгі рядки нулів або одиниць. Даний інтерфейс самосинхронізується і самотактується. Кадрування виконується шляхом виявлення спеціального шаблону синхронізації, який з'являється в послідовному цифровому сигналі у вигляді послідовності з десяти одиниць, таких після двадцяти нулів (в HD двадцять одиниць йдуть після сорока нулів). Ніде в межах корисних даних не допускається поява цього бітового шаблону.

Переваги: Значна дальність каналу передачі, висока швидкість передачі даних

Недоліки: використовується лише у професійному дорогому обладнанні, у якості середовища передачі використовує коаксіальний кабель.

- *Інтерфейс Camera Link*

Camera Link є дуже функціональним і потужним інтерфейсом, розробленим спеціально для камер машинного зору [7].

Діапазон частот інтерфейсу Camera Link дозволяє працювати з камерами, габарити яких не перевищують розмірів кубика цукру, а також з камерами, роздільна здатність яких досягає 2 Мп, а швидкість - кількох сотень кадрів в секунду. Для камер, розрахованих на пропускну здатність каналу 100-850 Мбайт/с, рекомендується використовувати стандартизований інтерфейс Camera Link.

Оскільки Camera Link був розроблений спеціально для камер машинного зору, він гарантує дуже високу швидкість відеосигналу, простоту використання і збереження даних. Всі компоненти рішення повинні підтримувати стандарт Camera Link. Кабелі, з'єднання і плати відеозахоплення стандарту Camera Link зазвичай призначені для застосування тільки в ТВ-системах і є дорогими. Кожен компонент рішення повинен бути сертифікований виробником і сумісний з іншими компонентами.

Інтерфейс Camera Link має три варіанти конфігурації [8]:

- Base (1 порт, 1 роз'єм для кабелю) - 255 Мбайт / с;
- Medium (2 порту, 2 роз'єми для кабелю) - 510 Мбайт / с;
- Full (4 порту, 2 роз'єми для кабелю) - 850 Мбайт / с.

Довжина кабелю: до 10 м при 85 МГц.

Переваги: спеціалізований і визнаний стандарт, високі швидкості передачі, передача даних і живлення по одному кабелю (PoCL - Power over Camera Link).

Недоліки: потрібна спеціалізована плата відеозахоплення, необхідні компоненти класу Hi-End (плата відеозахоплення, кабелі), невелика довжина .

- **Цифрові мережі:**

- *Технологія GigE Vision*

Стандарт Gigabit Ethernet (GigE) широко використовується для передачі відеосигналу в системах машинного зору з 2006 р [9]. За кількістю інсталяцій це найбільш швидко поширюваний інтерфейс для цифрових камер промислового застосування. Причина в тому, що GigE позбавляє користувачів від традиційних проблем.

1. Дозволяє отримувати від камери зображення при значних довжинах кабелю. Так, довжина 5-ї категорії кабелю (CAT5) може досягати 100 м. Є стандартні способи збільшення цієї відстані, аж до використання оптики. Такі довжини кабелю неможливі для протоколів Camera Link, USB 2.0 і FireWire.

2. Спрощує застосування декількох камер, що підключаються до одного комп'ютера. При пропускної здатності 100 Мбайт / с і довжині кабелю 100 м Gigabit Ethernet є універсальним цифровим інтерфейсом, тому відпадає необхідність в платах відеозахоплення (фреймграбберах) і спеціальних кабелях для роботи зі швидкісною камерою в системі машинного зору.

Цифрові системи стандарту GigE є альтернативою традиційним системам на базі аналогових телекамер майже в будь-якій сфері застосування. На сьогодні GigE переважає в ряді областей - від виробничих об'єктів до інтелектуальних транспортних систем.

При роботі з мережевим інтерфейсом Gigabit Ethernet постачальник рішення має враховувати наступні вимоги:

- висока обчислювальна потужність для захоплення зображення (зазвичай 3-8% від продуктивності процесора);

- часовий період між кадрами - визначається користувачем. Інтерфейс Gigabit Ethernet дозволяє отримати точність синхронізації камери 1 мс. Цього виявляється досить для більшості додатків. Користувачам, які бажають

синхронізувати камери з точністю вище 1 мс, слід використовувати зовнішній запуск.

Швидкість: 100 Мбайт/с.

Довжина кабелю: до 100 м.

Переваги: стандартний інтерфейс для будь-якого комп'ютера, проста організація багатокамерного режиму зйомки, значна довжина каналу передачі, підтримка стандарту PoE.

Недоліки: потрібна висока процесорна потужність.

Таблиця 1.1 - Порівняння стандартів передачі відео

	CoaXPress	Camera Link	GigE Vision 1.x	USB3.0	GigE Vision 2.x	Camera Link HS
Single-Link Speed	6.25 Gb/s	2 Gb/s (Base, 1 cable)	1 Gb/s	5 Gb/s	Up to 10 Gb/s	3.125 Gb/s
Maximum Speed	$N * 6.25 \text{ Gb/s}$ (N cables)	5.5 Gb/s (Deka, 2 cables)	2 Gb/s (LAG)	5 Gb/s	20/40 Gb/s (2/4 LAG)	$2N * 3.125 \text{ Gb/s}$ (N cables)
Cost	Low to High (Frame Grabber required)	Medium to High (Frame Grabber required)	Medium	Low	Medium/High	Medium
Complexity	Low	Low	High	Medium	High	Medium
Cabling	Coaxial	Custom multi-core	Cat-6	Complex, mass-produced	Cat-6, optical fiber	CX-4
Maximum Length	100m/50m	10m/7m	100m	3m	Fiber 20 km+	15m, fiber 300m+
Data Integrity	CRC, 8B/10B	None	CRC, 8B/10B, Resend	CRC	CRC, 8B/10B or 64B/66B, Resend	CRC, Resend
Real Time Trigger	Yes, $\pm 4 \text{ ns}$	Yes	No	No	Yes, based on IEEE1588 (>25 ns)	No

1.4. Стандарт GigE Vision

GigE Vision – стандарт, який потенційно може стати найкращим інтерфейсом для додатків комп'ютерного зору [10]. По-перше, стандарт визначає єдиний протокол, заснований на UDP / IP, який дозволяє GigE Vision сумісним продуктам обробки зображень спілкуватися з хостом. По-друге, GenICam, на який посиляється стандарт, призначений для створення

спільного програмного інтерфейсу, який дозволяє пристроям передавати свої функції будь-якому сумісному програмному забезпеченню, використовуючи стандартизований файл формату XML. Поєднання єдиного протоколу плюс визначення XML дає можливість використовувати апаратно-незалежне програмне забезпечення від будь-якого виробника з будь-яким пристроєм, що підтримує GigE, що полегшує обмін обладнанням для обробки зображень, якщо це необхідно.

Ця нова технологія пропонує користувачам цілий ряд переваг. Ключове питання - спрощення обміну апаратними засобами, якщо виникне така потреба. Це, в свою чергу, обіцяє більш короткий цикл проектування, зниження витрат на розробку і, як наслідок, більші можливості на ринку.

Крім того, слід пам'ятати, що Gigabit Ethernet (на відміну від попередника FastEthernet [11]) забезпечує достатню пропускну здатність по мережевим підключенням для задоволення високих вимог до пропускну здатності, які існують у багатьох додатках обробки зображень. При запланованій швидкості передачі приблизно 100 Мбайт/с, GigE Vision обслуговує переважну більшість загальних додатків обробки зображень.

Інші переваги користувача включають можливість запускати будь-яку кількість пристроїв на одному хості, потенціал для віддаленого обслуговування та більш просту реалізацію розподілених обчислень.

Крім того, завдяки широкому застосуванню цієї технології, Gigabit Ethernet пропонує значно довші і дуже недорогі кабелі, які доступні в класах, які підходять для ланцюгових кабельних носіїв. Відповідно до специфікації, можливі відстані до 100 м, які раніше могли бути досягнуті за допомогою ряду інших технологій із значним зусиллям, наприклад, використання ретрансляторів з кабелями CameraLink або концентраторами з IEEE-1394 або навіть перемикачів на абсолютно різних середовищах, такі як волоконно-оптичні або коаксіальні кабелі. Якщо потрібні ще більші відстані, волоконно-оптичні кабелі

також можуть використовуватися з Gigabit Ethernet. Але навіть це не все, що стосується транспортування даних: Спочатку базове транспортне середовище не має значення в GigE Vision і визначенні протоколу. Таким чином, всі ці переваги є твердим прикладом для твердження, що GigE Vision зможе відігравати значну, потужну роль у промисловій обробці зображень.

Промисловість намагається визначити GigE Vision як окремий стандарт, і врешті-решт, метою стандарту є полегшення інтеграції апаратних компонентів або гарантія того, що компоненти можуть обмінюватися, а також мінімізувати витрати та час, пов'язані з інтеграцією.

GigE Vision і GenICam прийняли підхід, який призначений для забезпечення гнучкого опису функцій камер, які можуть використовуватися загальним програмним продуктом.

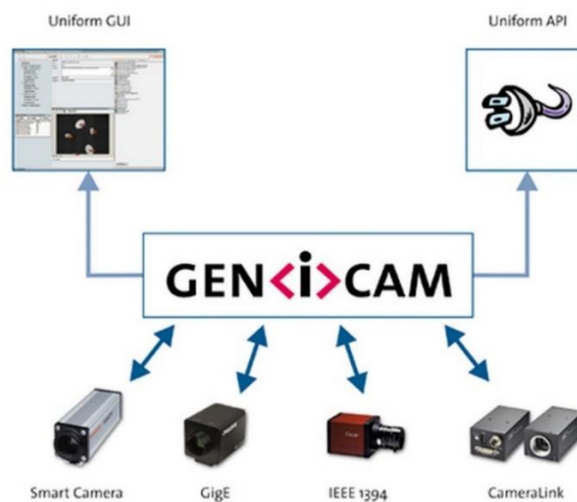


Рисунок 1.1 - Мета GenICam - забезпечити повну функціональність plug & play

XML-файл використовується для опису функцій і функцій камер, які в кінцевому підсумку описують карту реєстру. Виробники використовують цей файл для зберігання детальної інформації про свій продукт у форматі XML (описаний у стандарті), що пояснює, як і де їх можна вирішити. Таким чином, наприклад, реєстр, що контролює коефіцієнт посилення камери, може бути

розташований будь-де на карті регістру для цієї камери. Використовуючи файл XML, програмне забезпечення може налаштувати цей коефіцієнт.

Будучи в змозі використовувати будь-який загальний програмний продукт, це просто питання для вирішення будь-якої функції камери (або іншого пристрою) або доступу до параметрів. Таким чином, GenICam відповідає за визначення макета XML-файлу та надання доступної довідкової реалізації, яка здатна керувати камерою і захоплювати дані з неї. У наступних версіях GenICam також абстрактно обертає шар зв'язку до камери, дозволяючи використовувати його для камер FireWire або CameraLink.

Щоб досягти цього, механізми, необхідні для спілкування з камерою, будуть абстрагуватися і інкапсульовані в спеціальний рівень зв'язку, який називається «транспортний шар». Заміна цього шару дасть змогу спілкуватися не тільки з компонентами GigE Vision, але й з IEEE-1394 або іншими пристроями на основі регістру. На подальшому етапі функціональність буде розширена на підтримку не тільки чистого регістрового доступу, але й обміну «маркерами рядків», які дозволять GenICam також використовувати для камер CameraLink.

Оскільки широко використовувана комбінація TCP / IP (наприклад, для веб-відео чи загального http) не забезпечує необхідної пропускну здатності та затримки даних, стандарт GigE Vision був розроблений під егідою AIA (Асоціація автоматизованих зображень). Цей стандарт на основі UDP / IP: легкий, високошвидкісний протокол, який не вимагає попереднього зв'язку. Протокол GigE Vision забезпечує надійний зв'язок з камерами / пристроями, підтримуючи високошвидкісну потокову передачу зображень через стандартні мережі Gigabit Ethernet. На відміну від стандарту IIDC 1394 (FireWire / DCAM), GigE Vision в основному є стандартом протоколу передачі. Вона лише описує характер зв'язку з керуванням камерою та потоком даних. Описання функцій та доступ здійснюються за допомогою стандартного стандарту GenICam (див. Розділ 6.8). UDP / IP, на відміну від TCP / IP, також підтримує з'єднання "точка-

багато точок". Це означає, що камера може передавати дані зображення на декілька комп'ютерів одночасно (multicast). Завжди існує головний додаток, що підтримує керування камерою, але інші комп'ютери / програми можуть читати камеру та дані зображення. Таким чином, складні ситуації обробки можна легко розділити між кількома комп'ютерами, або можна налаштувати станції моніторингу, які не перешкоджають обробці.

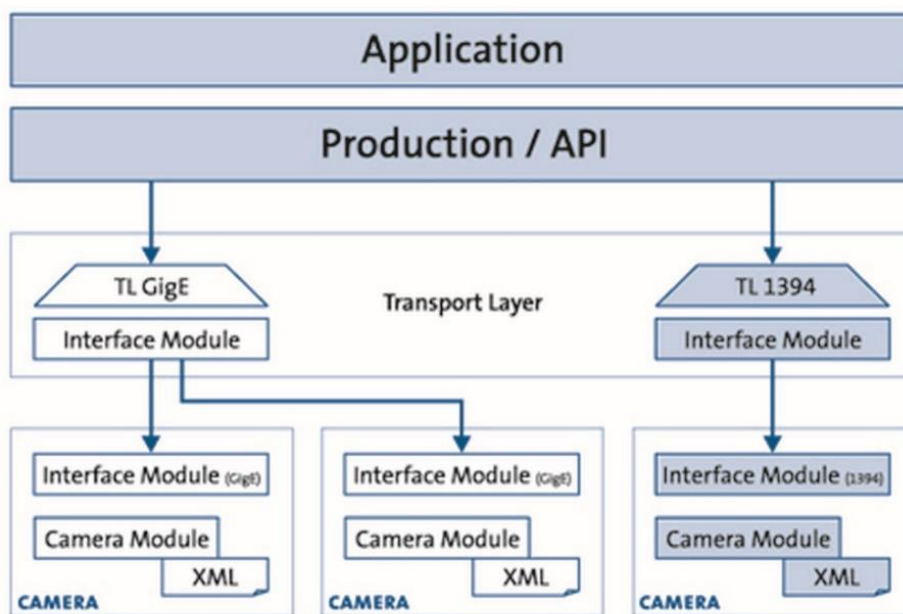


Рисунок 1.2 – GigE Vision & GenICam: Структурна схема з транспортним шаром

Стандарт GigE Vision використовує безліч мережевих опцій і не обмежує пристрої GigE Vision до джерел зображення / камер: наприклад, пристрої, такі як контролери строби або прозорі коробки попередньої обробки, які легко обробляти комбінацією GigE Vision / GenICam. Інші потенційні програмні рішення включають CVB GigE Vision Server, який робить додатки, що ведуть себе як пристрій / камера GigE Vision, і таким чином дозволяють іншому

апаратному забезпеченню бути сумісним з GigE Vision або включати будь-який вид обробки або конфігурації.

Загалом стандарт GigE Vision складається з трьох частин:

- **GigE Vision - виявлення пристроїв**

Оскільки це мережевий протокол, спочатку потрібно знайти пристрої. Для цього стандарт GigE Vision дозволяє користувачам здійснювати пошук камер у підмережі. Камери, в цьому випадку, відтворюють пасивну частину і реагують на запити. Відповідь на запит також містить інформацію про виявлені пристрої, наприклад, імена та версії. Версія 2.0 і версії стандарту додатково надають додаткові функціональні можливості, які камери можуть зробити відомими через DNS (Multicast Domain Name Service), і програми можуть виявляти ці камери через DNS-SD (DNS Service Discovery). Перевага цього підходу полягає в тому, що пакунки не потрібно періодично надсилати через мережу, щоб знайти нову камеру, але самі камери входять і виходять.

- **GigE Vision - GVCP (протокол GigE Vision Control Protocol)**

Основною метою GVCP є контроль камер на основі реєстру. Це означає, що програми читають і записують окремі блоки даних. Кожен блок даних (реєстр) являє собою одну або кілька функцій (наприклад, час експозиції датчика). При кожному доступі до реєстру надсилаються пакети зворотного зв'язку, щоб переконатися, що камера отримала пакет керування. Використовуючи GenICam, камери можуть бути налаштовані легко і стан камери може бути опитаний. GVCP також визначає зворотний канал, через який камера може надсилати повідомлення (події) до програми. На цьому шляху можуть передаватися зміни стану, такі як початок експозиції зображення або помилки експозиції.

- **GigE Vision - GVSP (протокол GigE Vision Streaming Protocol)**

GVSP надає протокол для потокової передачі даних, які не стискаються, і - з моменту версії 2.0 - також стислі потоки даних. Для передачі зображення розбивається на кілька пакетів і пакети повторно компілюються при отриманні. Як і у випадку з GVCP, додаткове повторне надсилання пакетів забезпечує безпеку даних. Протокол потокової передачі не тільки підтримує передачу більшості форматів зображень, але також може додавати до даних зображень метадані, наприклад, інформацію про тригер або гістограми. Крім того, кожне зображення містить певний часовий штамп камери. Версії 2.0 і версії версії 2.0 додатково підтримують IEEE 1588 (стандарт для точної синхронізації часу), щоб різні камери використовували загальний системний час.

1.5. Аналіз відомих технічних рішень за результатами патентного пошуку

Проведено патентний пошук в базах наступних організацій: “Український інститут інтелектуальної власності (Укрпатент)”, “Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент)”, “World Intellectual Property Organization (WIPO)”, “United States Patent and Trademark Office (USPTO)”. Лише у базі організації “World Intellectual Property Organization (WIPO)” знайдено аналогічні існуючі технічні рішення.

Патент CN207869222. Мікро-гігабітна камера

Корисна модель описує мініатюрну гігабітну мережеву камеру з функцією PoE, яка вирішує технічну проблему великих розмірів, ваги і неможливої високошвидкісної передачі відео існуючих камер такого типу.

Корисна модель мікро-гігабітної мережевої камери з функцією PoE містить плату захоплення зображень, компоненти материнської плати (включаючи плату обробки зображень, функцію PoE + мережеву плату PHY,

фіксовану плату RJ45, гнучку плату), інтерфейс RJ45, 6-ядерний авіаційний штекер. Вхідна плата живлення та плата керування оптопарком дозволяють гігабітній камері підтримувати більш високу швидкість захоплення зображень та функції обробки зображень, при цьому значно збільшуючи відстань передачі. Блок керування входом гігабітної мережі кріпиться до заднього корпусу гвинтами, плата захоплення зображень кріпиться до передньої рамки гвинтами, а модульні компоненти основної плати з'єднані із платою захоплення зображень. Компоненти основної плати підключаються через роз'єм ZIF. Вхідна плата і компоненти основної плати з'єднані за допомогою роз'єму материнської плати. Модуль RJ45 і компонент основної плати розташовуються паралельно з нижньою кришкою. Гвинти кріпляться до нижньої кришки, а потім передня рамка, задній корпус і нижня кришка кріпляться гвинтами. При такому розміщенні, загальна структура проста і компактна, і таким чином має малий розмір і невелику вагу

Мікро-гігабітна мережева камера використовує інтерфейс RJ45 і підтримує протокол GigE Vision, який значно розширює відстань зв'язку, а також підтримує функцію PoE, що спрощує режим підключення джерела живлення, а корисна модель використовує жорстку і гнучку комбінаційну плату і слот. Метод фіксації кронштейна може ефективно зменшити втрату області розміщення друкованої плати, викликаної монтажним отвором, крім друкованої плати з точністю позиціонування, інші друковані плати вільні від гвинтової установки, а виробництво і монтаж є простим, заощаджуючи час і робочу силу.

Крім того, конструкція забезпечує достатню тепловіддачу, щоб продукт міг працювати при більш високих температурах, покращуючи стабільність і надійність виробу.

Переваги: підтримка GigE Vision, наявність функцій обробки зображень, невеликі габаритні розміри, ефективні конструкторські рішення, забезпечення

достанього рівня тепловіддачі для розширення температурного діапазону камери.

Недоліки: не розглянуте питання мінімізації затримки передачі відеоданих до отримувача, не розкриті питання функціонування даної системи в умовах підвищеного рівня завад, шумів і паразитних параметрів.

Патент CN205039903. Промислова камера

Корисна модель відноситься до галузі техніки промислових камер, зокрема до цифрової промислової камери, яка використовує гігабітну мережу в якості інтерфейсу передачі даних і об'єднує мініатюризацію і високу ефективність.

Індустріальна камера включає в себе передню плату захоплення зображення, плату задньої торцевої панелі для передачі цифрових даних, кронштейн для встановлення плати і металевий корпус.

Передня кінцева плата захоплення зображення включає в себе: цифровий датчик зображення для фотоелектричного перетворення, провідний лист для розсіювання тепла цифрового датчика зображення і друковану плату, на якій це все встановлено.

Плата задньої торцевої панелі для передачі цифрових даних включає в себе: мікросхему FPGA, мікросхему буфера даних, мікросхему Ethernet модуль керування потужністю. Ця плата підключена до передньої кінцевої плати захоплення зображення через інтерфейсну схему.

Метод конструювання забезпечує оптимізацію використання внутрішнього простору камери, підвищення ефективності обміну даними між модулями, зменшення зовнішніх перешкод і досягнення мети підвищення стабільності камери.

Корисна модель вводить модуль розсіювання тепла в передню кінцеву плату захоплення зображення і передає тепло внутрішньої схеми камери до

корпусу камери, тим самим підвищуючи стабільність камери і усуваючи вплив надмірної температури на продуктивність камери.

Промислова камера обмінюється даними з комп'ютером через інтерфейс Gigabit Ethernet, підтримує протокол GigEVision, а відстань передачі даних перевищує 100 м. У той же час, рівень завантаженості процесора протоколу GigEVision дуже низький, що забезпечує стабільність передачі даних зображення.

Переваги: камера підтримує протокол GigEVision, має гарні характеристики розсіювання тепла, малі розміри, легко збирається, передбачає захист від шумів і завад.

Недоліки: складна конструкція камери, не розглянуте питання мінімізації затримки передачі відеоданих до отримувача.

Патент CN109089029. Система і метод передачі зображення GigE Vision на основі FPGA.

Винахід розкриває систему і спосіб передачі зображення GigE Vision на основі FPGA, що включає відеосенсор, головний комп'ютер, локальну мережу Gigabit Ethernet, пристрій вбудовування зображень на основі інтерфейсу GigE, в якому вбудовані зображення на основі інтерфейсу GigE. Пристрій вбудовування зображень є основним пристроєм системи, що включає чіп FPGA і мікросхему PNY, при цьому кінцевий вхідний сигнал FPGA з'єднаний з кінцем вихідного сигналу відеосенсору, FPGA і чіп PNY з'єднані один з одним, чіп PNY і інтерфейс RJ45 з'єднані один з одним, і інтерфейс RJ45 з'єднаний з ПК через мережний кабель і ПК. Головний комп'ютер підключено. Вбудована система захоплення зображень, заснована на інтерфейсі FPGA і GigE Vision, реалізованому винаходом, має високу ефективність передачі і значну відстань передачі і має переваги, зокрема, менша кількість логічних ресурсів і знижені вимоги до обладнання, порівняно з аналогічними IP-ядрами в промисловості.

Даний винахід відноситься до області цифрових технологій обробки зображень, і, зокрема, до FPGA-основі системи і способу передачі зображення Gige Vision.

Іншим завданням цього винаходу є створення способу передачі зображення на основі інтерфейсу GigE Vision на основі FPGA.

У порівнянні з попереднім рівнем техніки, даний винахід має наступні переваги:

1. Винахід базується на мікросхемі FPGA і має п'ять частин логічних модулів (включаючи модуль отримання зображення, модуль обробки формату зображення, модуль керування GVCP, модуль стека протоколів Ethernet і модуль керування Ethernet) в чіпі FPGA. Модуль, кожен модуль, розділений на безліч невеликих модулів, які реалізують структуру логічного модуля і потік даних отримання зображення, тим самим ефективно знижуючи вартість обладнання, зменшуючи споживання енергії, і зменшуючи обсяг, з іншого боку. Ефективно збільшити обсяг обробки даних, підвищити ефективність обробки даних і підвищити енергоефективність. Винахід може бути широко застосовано для промислового моніторингу на місцях на основі машинного зору.

2. Даний винахід внутрішньо включає стек протоколів, що підтримує ICMP, ARP, UDP, розбір і передачу протоколів IP, а сам стек протоколів має модуль різання пакетів високої продуктивності, який може поліпшити гігабіт порівняно з тим же типом стека протоколів. Використання пропускної здатності Ethernet і інкапсуляція пакета зручні для користувачів.

До недоліків даного винаходу можна віднести: складна конструкція, не розкриті питання функціонування даної системи в умовах підвищеного рівня завад, шумів і паразитних параметрів, не розглянуте питання мінімізації затримки передачі відеоданих до отримувача

Висновки по розділу 1:

Проведено аналіз існуючих методів дослідження. Обрано метод порівняння, аналіз та синтез, дедуктивний метод та метод експериментальних досліджень. Проведений аналіз відомих технологій передачі відеоданих. Розглянуто аналогові, цифрові та цифрові мережні рішення. Проведене порівняння таких характеристик різних стандартів передачі потокового відео, як максимальна швидкість передачі даних, максимальна відстань між джерелом і приймачем відеоданих та ін. В результаті порівняння обрано стандарт потокової передачі відео GigE Vision у мережі Ethernet.

Проведений патентний пошук відомих технічних рішень побудови камер стандарту GigE Vision, який показав, що існують рішення для реалізації камери GigE Vision, які мають певні недоліки і переваги. Наявний рівень техніки потребує дослідження впливу алгоритму передачі кадрів на затримку передачі відеоданих у мережі.

На основі проведеного аналізу технологій передачі відеоданих і патентного пошуку прийнято рішення про розробку власної відеокамери, сумісної зі стандартом GigE Vision, яка базується на FPGA і дозволить забезпечити передачу потокового відео у мережу із мінімальною затримкою і без суттєвого пошкодження даних за рахунок передачі не стиснутого відеопотоку і значної гнучкості системи на кристалі, що реалізується у FPGA.

РОЗДІЛ 2. РЕАЛІЗАЦІЯ АПАРАТНОГО БЛОКУ ЗАХОПЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ІЗ ВІДЕОСЕНСОРА НА ПЛІС

В багатьох задачах обробки та передачі відеоінформації критичним є її отримання від оптичного сенсора із мінімальною затримкою. Для забезпечення цієї вимоги, запропоновано власний апаратний блок захоплення зображень із відеосенсора, реалізований на ПЛІС. Особливість даної реалізації полягає у застосуванні SoC системи, в якій наявні ПЛІС (на основі технології FPGA) та апаратний ARM-процесор [12].

Важливим питанням при побудові блоку захоплення зображень є вибір відеосенсора, адже від його початкових характеристик залежатиме швидкодія та надійність системи передачі відеопотоку. Існують різноманітні варіанти відеосенсорів (CMOS, CCD) із різною роздільною здатністю, різною частотою зміни кадрів, різними інтерфейсами передачі кадрів (8-бітна паралельна шина даних, MIPI інтерфейс, та ін.) та різними форматами кодування даних RGB565, RGB888, YUV422, та ін.). Виходячи із не менш важливого параметру – ціни такого пристрою можна зазначити, що на ринку наявні недорогі відеосенсори на основі CMOS матриць від OmniVision. Одним із таких є відеосенсор OV5640 [13], зображений на рисунку 2.1. Цей відеосенсор може передавати по 8-бітній шині кадри із роздільною здатністю і частотою зміни кадрів згідно таблиці 2.1. Інтерфейс налаштування регістрів сенсору – SCCB (I2C).



Рисунок 2.1 – Відеосенсор OV5640

Таблиця 2.1 - Параметри відеосенсора OV5640

format	resolution	frame rate	scaling method	pixel clock
5 Mpixel	2592x1944	15 fps	full resolution (dummy 16 pixel horizontal, 8 lines) 2608x1952 with dummy	96/192 MHz
1280x960	1280x960	45 fps	subsampling in vertical and horizontal 1296x968 supports 2x2 binning	96/192 MHz
1080p	1920x1080	30 fps	cropping from full resolution 1936x1088 with dummy pixels	96/192 MHz
720p	1280x720	60 fps	cropping 2592x1944 to 2560x1440 subsampling in vertical and horizontal 1296x728 with dummy supports 2x2 binning	96/192 MHz
VGA	640x480	90 fps	subsampling from 1280x960 648x484 with dummy supports 2x2 binning	48/96 MHz
QVGA	320x240	120 fps	subsampling from 1280x960 324x242 with dummy supports 2x2 binning	24/48 MHz

Формати кодування даних відеосенсора: RAW RGB, RGB565/555/444, CCIR656, YUV422/420, YCbCr422, і стиснуті дані.

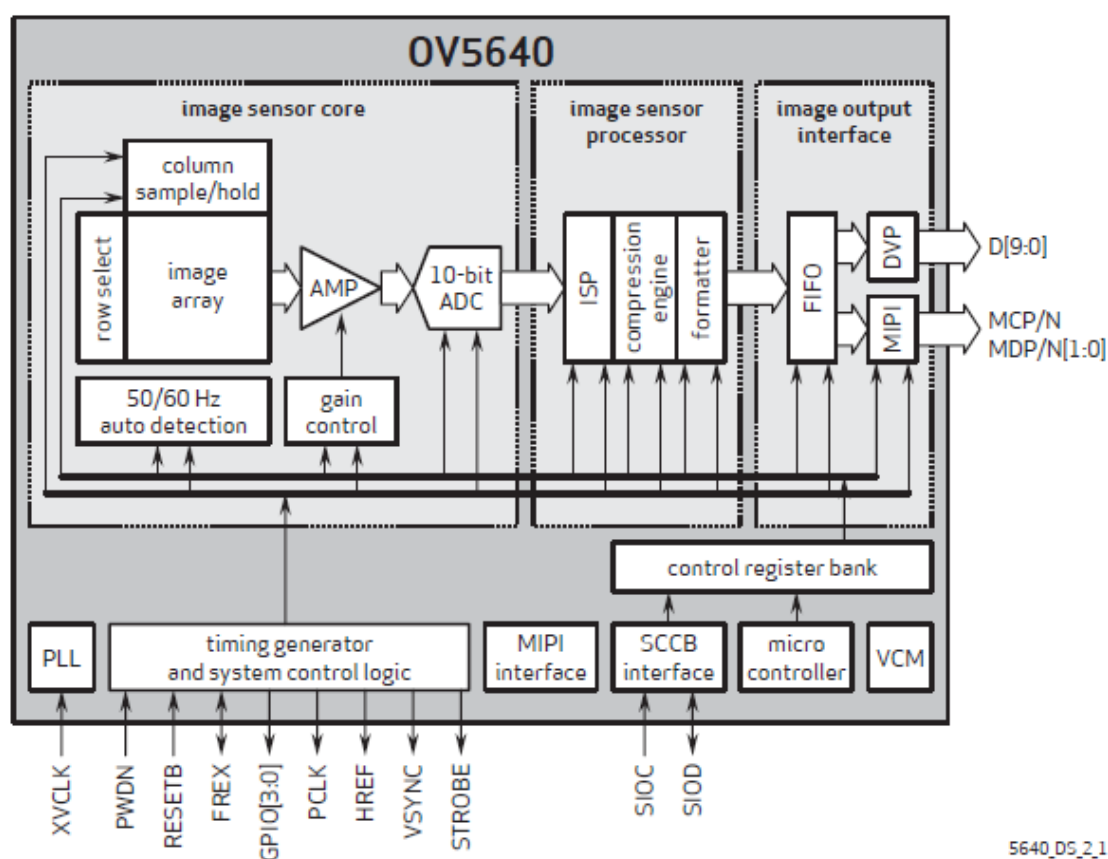


Рисунок 2.2 - Структурна схема модулю камери OV5640

2.1 Прийом та первинна обробка кадрів із відеосенсору у FPGA

Для реалізації блоку захоплення зображень на ПЛІС використовується програмне забезпечення від IntelFPGA – Quartus Prime. За допомогою нього створюється проект у якому на мові Verilog описується поведінка даного блоку захоплення зображень.

У FPGA частині створено тракт низькорівневої обробки відеоданих (див. рисунок 2.3), модулі якого реалізовано на мові Verilog.

За допомогою модулю **SCCB_camera_config** відбувається налаштування відеосенсору через шину I2C. Виконується запис даних у регістри конфігурації відеосенсору згідно його документації. В результаті налаштувань із відеосенсора до FPGA по 8-бітній шині надходять кадри роздільної здатності 640x480 із частотою зміни кадрів 90 к/с у форматі RAW RGB.

Модуль **convert2avl_stream_raw** виконує синхронізацію та початкове отримання відеоданих від сенсора та передає отриману інформацію на модуль, що здійснює перетворення RAW RGB у повноцінний RGB формат.

Модуль **raw2rgb** перетворює формат пікселю зображення із RAW RGB до повноцінного RGB формату використовуючи метод білінійної інтерполяції. Процес перетворення формату пікселю зображено на рисунку 2.3.

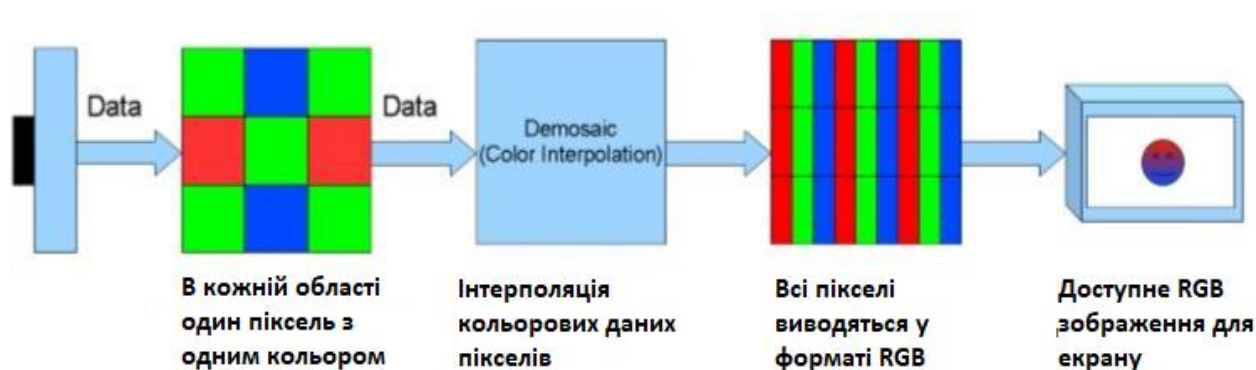


Рисунок 2.3 – Процес перетворення зображення з RAW RGB у RGB формат

Модуль **sdram_write** виконує передачу відеокадру до ARM процесору під управлінням ОС Linux, де вже його опрацьовуватиме DDR3-контролер для запису у DDR3 пам'ять. Використовується міст FPGA2HPS.

Модуль **read_data_ddr** зчитує відеокадр із DDR3 пам'яті, який йому приготував DDR3-контролер, що управляється ARM процесором із ОС Linux, і синхронізує частоту відеопотоку із частотою HDMI передавача.

Модуль **HDMI_tx** передає відеокадри використовуючи інтерфейс HDMI.

Модуль **I2C_HDMI_Config** виконує налаштування HDMI передавача, використовуючи інтерфейс I2C.

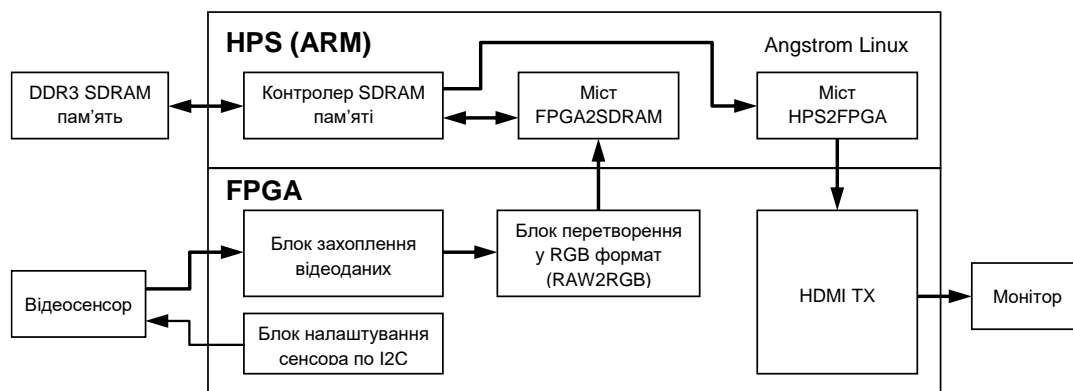


Рисунок 2.4 - Структурна схема блоку захоплення зображень із відеосенсора

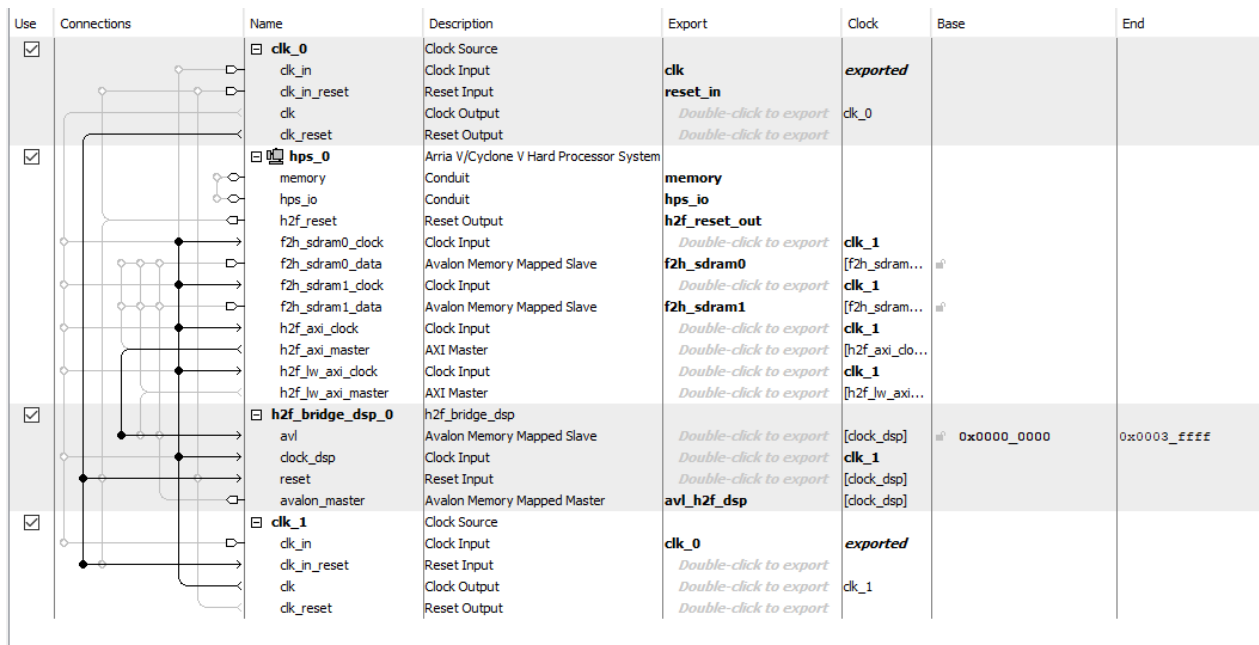
2.2 Процес взаємодії FPGA, DDR3 та ARM процесору під управлінням ОС Linux

Для спрощення проектування використовується утиліта Qsys, завдяки якій можна скласти систему із готових блоків - IP ядер, які описані на мові Verilog і є вільнодоступними. Така система використовується для реалізації взаємодії FPGA та ARM процесору – для організації передачі даних через мости до фреймбуферу та з нього.

За допомогою інтерфейсу FPGA2SDRAM підготовлені у FPGA частині відеокадри надходять до спільного з ARM-процесором буферу кадру, розміщеного у DDR3 пам'яті. Для забезпечення більшої зручності та гнучкості, зчитування і запис у фреймбуфері здійснюються за допомогою ARM-

процесору, що працює під управлінням ОС Linux. Відображення оброблених відеоданих виконується на звичайному моніторі, для чого у FPGA реалізовано HDMI інтерфейс.

На рис.2.4 зображено структуру системи на кристалі у Qsys для реалізації систему запису і зчитування із буферу відеокадрів за допомогою FPGA, мостів та ARM процесора під керівництвом ОС Linux.



Use	Connections	Name	Description	Export	Clock	Base	End
<input checked="" type="checkbox"/>		clk_0	Clock Source	clk	exported		
		clk_in	Clock Input	reset_in			
		clk_in_reset	Reset Input				
		clk	Clock Output	Double-click to export	clk_0		
		clk_reset	Reset Output	Double-click to export			
<input checked="" type="checkbox"/>		hps_0	Arria V/Cyclone V Hard Processor System	memory			
		memory	Conduit	hps_io			
		hps_io	Conduit	h2f_reset_out			
		h2f_reset	Reset Output	Double-click to export	clk_1		
		f2h_sdr0_clock	Clock Input	f2h_sdr0	[f2h_sdr0...		
		f2h_sdr0_data	Avalon Memory Mapped Slave	Double-click to export	clk_1		
		f2h_sdr1_clock	Clock Input	f2h_sdr1	[f2h_sdr1...		
		f2h_sdr1_data	Avalon Memory Mapped Slave	Double-click to export	clk_1		
		h2f_axi_clock	Clock Input	Double-click to export	clk_1		
		h2f_axi_master	AXI Master	Double-click to export	clk_1		
		h2f_lw_axi_clock	Clock Input	Double-click to export	clk_1		
		h2f_lw_axi_master	AXI Master	Double-click to export	clk_1		
<input checked="" type="checkbox"/>		h2f_bridge_dsp_0	h2f_bridge_dsp				
		avl	Avalon Memory Mapped Slave	Double-click to export	[clock_dsp]	0x0000_0000	0x0003_ffff
		clock_dsp	Clock Input	Double-click to export	clk_1		
		reset	Reset Input	Double-click to export	[clock_dsp]		
		avalon_master	Avalon Memory Mapped Master	avl_h2f_dsp	[clock_dsp]		
<input checked="" type="checkbox"/>		clk_1	Clock Source	clk_0	exported		
		clk_in	Clock Input	Double-click to export	clk_1		
		clk_in_reset	Reset Input	Double-click to export			
		clk	Clock Output	Double-click to export			
		clk_reset	Reset Output	Double-click to export			

Рисунок 2.5 - Система на кристалі для блоку захоплення кадрів у Qsys

Створена система зберігається, генерується у формі модулю на мові Verilog і підключається у головному Verilog файлі проекту. Далі проект компілюється і створюються .sof та .rbf файли для завантаження на FPGA.

В результаті компіляції проекту виведено статистику по використаним ресурсам (див. Рисунок.2.5).

Family	Cyclone V
Device	5CSEBA6U23I7
Timing Models	Final
Logic utilization (in ALMs)	4,206 / 41,910 (10 %)
Total registers	7621
Total pins	178 / 314 (57 %)
Total virtual pins	0
Total block memory bits	607,269 / 5,662,720 (11 %)
Total DSP Blocks	21 / 112 (19 %)
Total HSSI RX PCSs	0
Total HSSI PMA RX Deserializers	0
Total HSSI TX PCSs	0
Total HSSI PMA TX Serializers	0
Total PLLs	2 / 6 (33 %)
Total DLLs	1 / 4 (25 %)

Рисунок 2.6 – Використані ресурси FPGA для реалізації блоку захоплення зображень

2.3 Створення драйверу Linux для SoC Cyclone V

Коли Hardware частину проекту завершено, наступний крок – реалізація SoftWare частини – програмного забезпечення (драйверу) для взаємодії ARM процесора під управлінням ОС Linux із різноманітною периферією. Нижче наведено схему генерації повноцінного драйверу для Linux-SoCFPGA на базі SoC Cyclone V

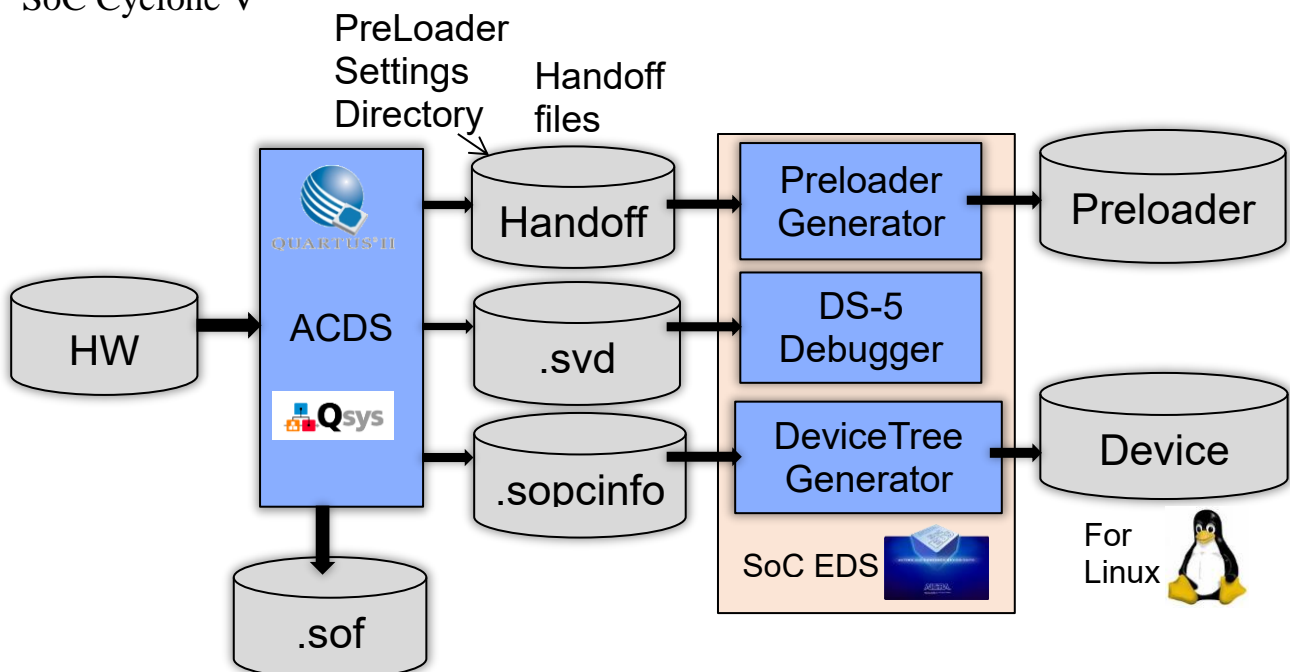


Рисунок 2.7 - Процес апаратного/програмного дизайну SoC Cyclone V

Необхідно створити драйвер для конфігурування DDR3 пам'яті та реалізації фреймбуферу для відеокадрів у ній.

Для створення ПЗ для ARM процесора використовується середовище DS-5 Studio. Спочатку створюється проект із вибором необхідного ядра – ARM Cortex-A9. Потім обирається тип проекту – Bare Metal чи Linux application. Обираємо Linux application, оскільки Bare Metal – це ПЗ, призначене для виконання без ОС.

Створюється програмний код на мові C для виконання на ARM процесорі під керівництвом ОС Linux, де реалізовано виділення пам'яті для фреймбуферу, а також процес зчитування і запису у фреймбуфері DDR3 пам'яті [14]:

Підключаються необхідні бібліотеки для роботи із linux-socfpga:

```
#include <linux/module.h>
#include <linux/init.h>
#include <linux/module.h>
#include <linux/slab.h>
#include <linux/fs.h>
#include <linux/platform_device.h>
#include <linux/miscdevice.h>
#include <linux/of_irq.h>
#include <linux/phy.h>
#include <asm/uaccess.h>
#include <linux/ioport.h>
#include <asm/io.h>
#include <linux/slab.h>
#include <linux/pagemap.h>
#include <linux/vmalloc.h>
#include <linux/delay.h>
```

За допомогою функції `dma_alloc_coherent` виділяємо пам'ять під фреймбуфер розміром 4 Мб, якої цілком вистачає для зберігання кадрів із відеосенсора. Також реалізовано операції зчитування і запису даних у фреймбуфер.

```

struct ioregion
{
    char* name;
    unsigned long address;
    unsigned long size;
    void __iomem* base;
};

static struct {
    void __iomem *addr_buf_1;
    void __iomem *addr_buf_2;
} regs;

static int ioregion_request(struct ioregion* reg_p)
{
    /* reserve our memory region */
    if (NULL == request_mem_region(reg_p->address, reg_p->size, reg_p->name))
        return (-EBUSY);

    /* ioremap our memory region */
    reg_p->base = ioremap_nocache(reg_p->address, reg_p->size);

    if (NULL == reg_p->base)
    {
        release_mem_region(reg_p->address, reg_p->size);
        return (-ENOMEM);
    }

    return (0);
}

```



```

static void ioregion_release(struct ioregion* reg_p)
{
    iounmap(reg_p->base);
    reg_p->base = NULL;
    release_mem_region(reg_p->address, reg_p->size);

    return;
}

unsigned int addr_buf_write_1;
unsigned int addr_buf_write_2;
static unsigned int * b0_ptr1 = NULL;
static unsigned int * b0_ptr2 = NULL;
static dma_addr_t handle1;
static dma_addr_t handle2;
struct ioregion* reg_p;

static int framebuffer_init(void)
{
    int retval;
    for (reg_p = regions_tab; NULL != reg_p->name; ++reg_p)
    {
        retval = ioregion_request(reg_p);
    }
    printk("The module is successfully added to kernel!\n");

    // allocation of two buffers
    b0_ptr1 = dma_alloc_coherent( NULL, 4194304, &handle1,
        GFP_KERNEL | GFP_DMA ); // 4 MB
    b0_ptr2 = dma_alloc_coherent( NULL, 4194304, &handle2,
        GFP_KERNEL | GFP_DMA ); // 4 MB

    printk("allocation of two buffers \n");
}

```

```

    // Address byte to address word
    addr_buf_write_1 = handle1 >> 3;
    addr_buf_write_2 = handle2 >> 3;
    printk("hps_addr_1 = %X\n", handle1);
    printk("hps_addr_2 = %X\n", handle2);
    printk("fpga_addr_write_1 = %X\n", addr_buf_write_1);
    printk("fpga_addr_write_2 = %X\n", addr_buf_write_2);
    init_regs();
    write_to_fpga(addr_buf_write_1, addr_buf_write_2);
    return 0;
}

static void framebuffer_exit(void)
{
    printk("exit\n");
    if( b0_ptr1 )
        dma_free_coherent(NULL, 4194304, b0_ptr1,
                           handle1 );
    if( b0_ptr2 )
        dma_free_coherent(NULL, 4194304, b0_ptr2,
                           handle2 );
    for (reg_p = regions_tab; NULL != reg_p->name; ++reg_p)
        if (NULL != reg_p->base)
            ioregion_release(reg_p);
}

module_init(framebuffer_init);
module_exit(framebuffer_exit);

```

Далі написаний код збирається за допомогою крос-компілятора GCC у об'єктний файл, який вже призначений для виконання ОС Linux на ARM процесорі. Дані із відеосенсору проходять увесь тракт блоку захоплення зображень і потрапляють у DDR3 пам'ять, звідки потім передаються на FPGA частину для подальшого відображення на HDMI моніторі.

2.4 Збірка та завантаження Linux на SoC Cyclone V

Для збірки Linux на SoC Cyclone V необхідно створити завантажувальну microSD карту. Вона поділена на 3 складові – розділи: 1 - FAT32, 2 - ext4(Linux) та 3 - A2 (див. табл.3.1). У розділі 1 зберігається прошивка для FPGA - .rbf файл, файл дерева пристроїв - .dtb файл, ядро Linux – zImage (uImage) файл, та скрипт для запуску всіх складових - .scr файл

Таблиця 2.2 - Склад завантажувальної microSD карти

Розділ	Ім'я файлу	Опис
Partition 1	socfpga.dtb	Device Tree Blob file
	soc_system.rbf	FPGA configuration file
	u-boot.scr	U-boot script for configuring FPGA
	zImage	Compressed Linux kernel image file
Partition 2	various	Linux root filesystem
Partition 3	n/a	Preloader image
	n/a	U-boot image

У розділі 2 знаходиться файлова система Linux. У розділі 3 мають бути preloader-mkpmimage.bin та u-boot.img.

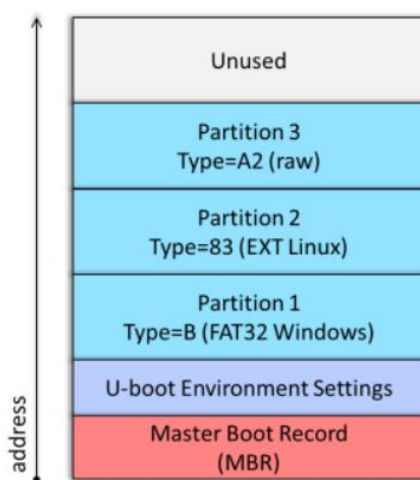


Рисунок 2.8 - Розділи завантажувальної microSD карти [15]

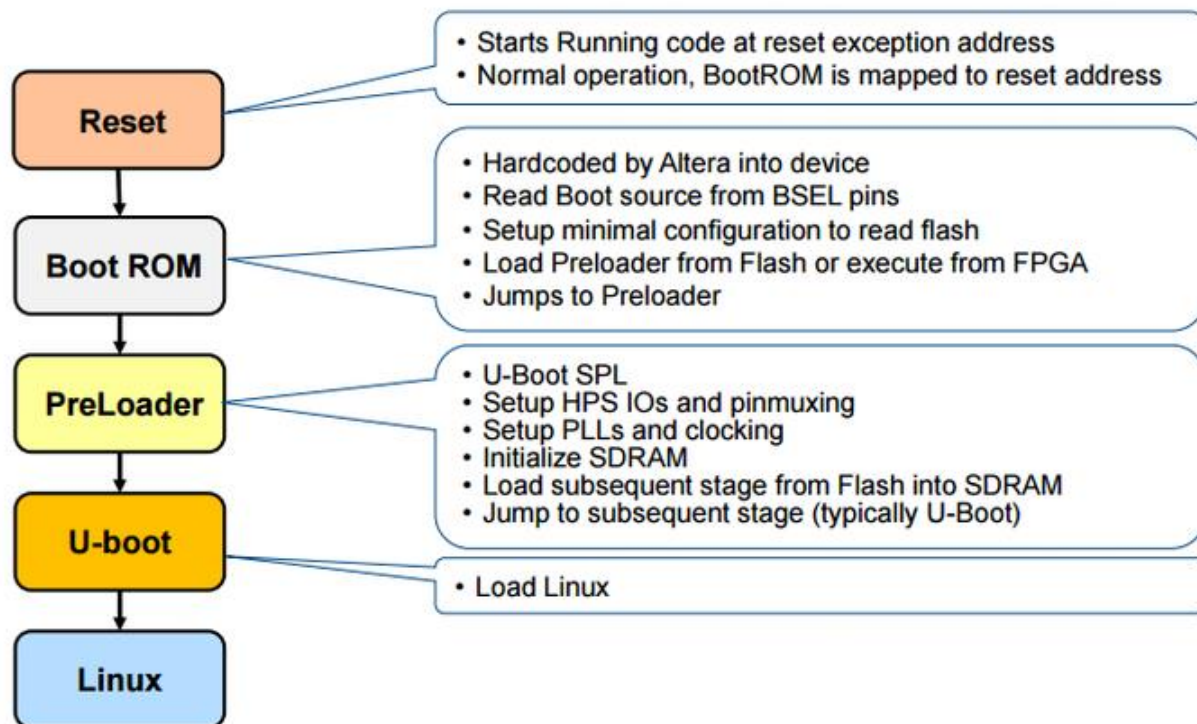


Рисунок 2.9 – Загальний процес завантаження Linux програми на SoCFPGA

Cyclone V

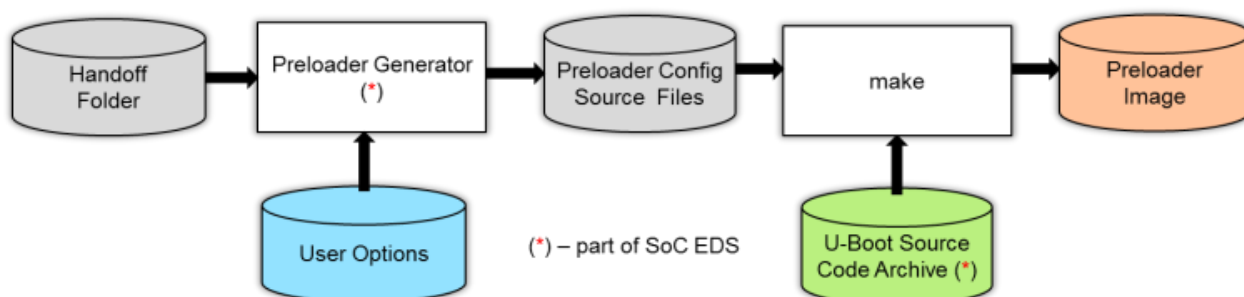


Рисунок 2.10 – Схема генерації передзавантажувача (preloader)

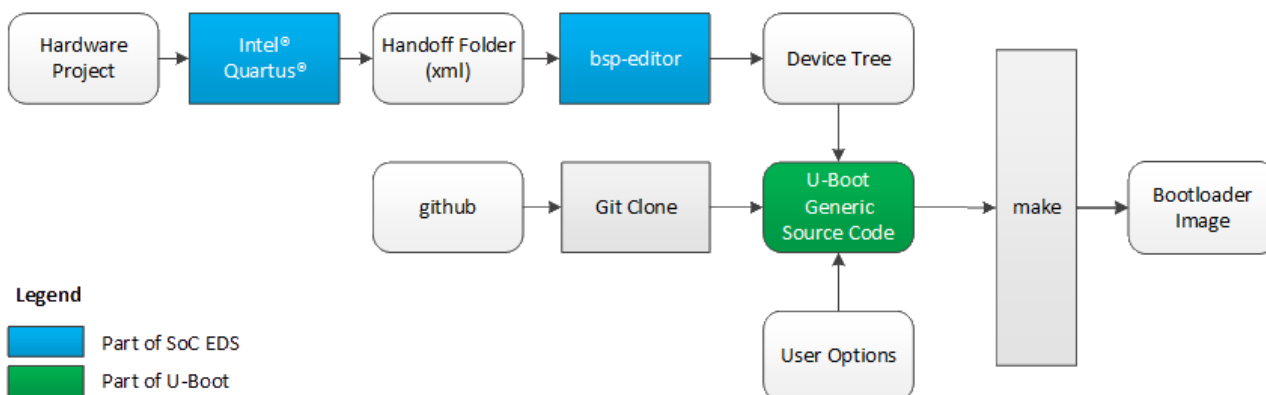


Рисунок 2.11 – Схема генерації завантажувача (u-boot) [16]

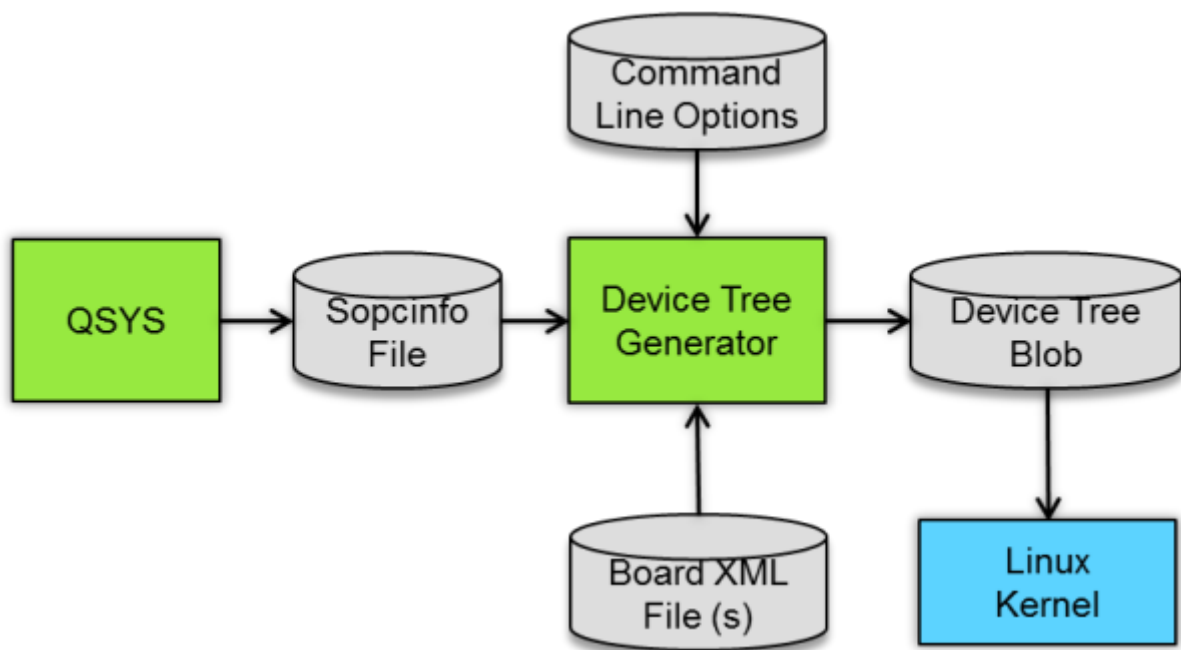


Рисунок 2.12 – Схема генерації .dtb файлу

Після генерування системи на кристалі у Qsys з'явилися файли `soc_system.qsys` та `soc_system.sopcinfo`. Останній використовується для створення DTS та DTB файлів, які необхідні для опису використаної периферії при завантаженні Linux на SoC Cyclone V.

Використовуючи утиліту SoC EDS створюються дані файли за допомогою командного рядка:

```
sopc2dts --input soc_system.sopcinfo --output socfpga.dts --
board soc_system_board_info.xml --board hps_clock_info.xml
```

```
dtc -I dts -O dtb -o socfpga.dtb socfpga.dts
```

Далі генерується передзавантажувач Preloader (FSBL) `preloader.mkpimage.bin` із `soc_system.sopcinfo` файлу за допомогою утиліти `bsp-editor` &

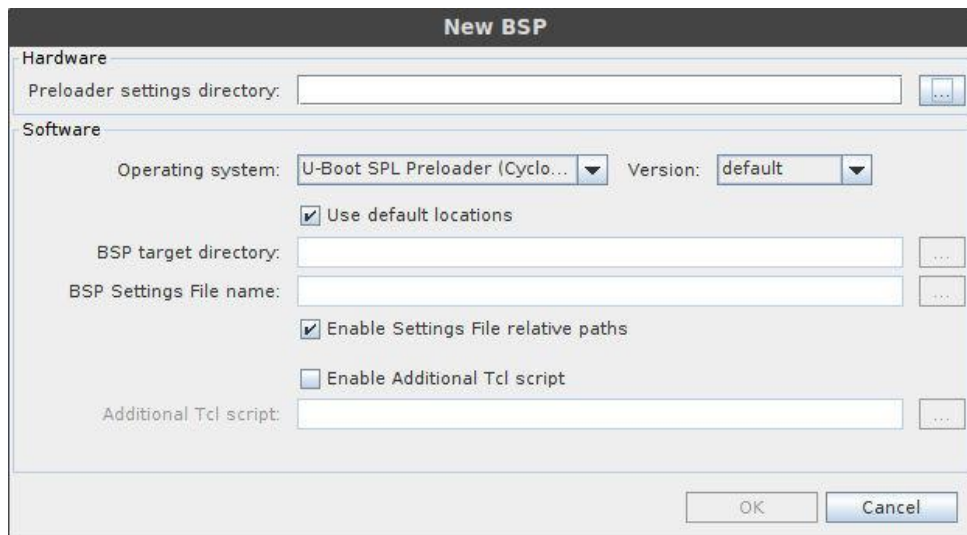


Рисунок 2.13 - Утилита BSP-editor

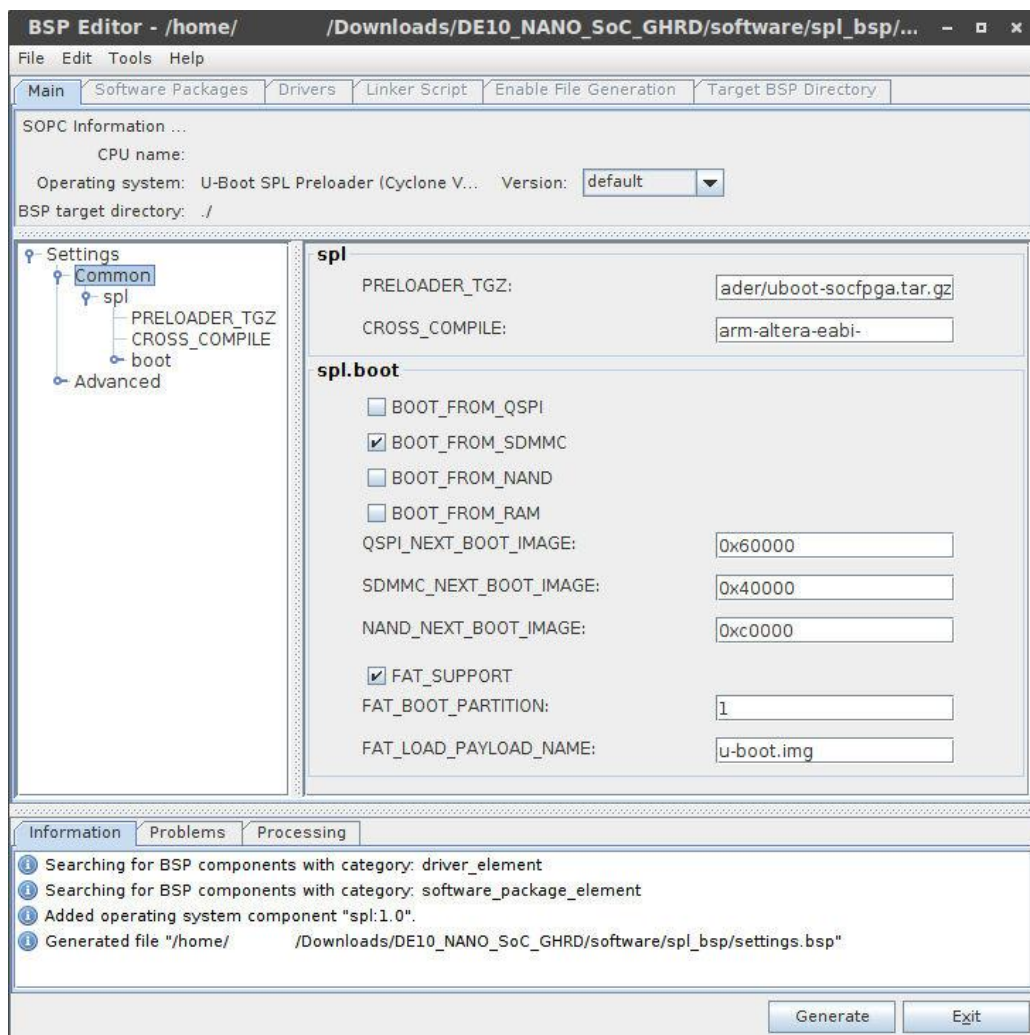


Рисунок 2.14 - Налаштування параметрів завантаження у BSP-editor

Після цього необхідно згенерувати Bootloader (SSBL) u-boot.img використовуючи крос-компілятор gcc.

```
wget
https://releases.linaro.org/components/toolchain/binaries/latest-
6/arm-linux-gnueabihf/gcc-linaro-6.3.1-2017.05-x86_64_arm-linux-
gnueabihf.tar.xz
tar -xvf gcc-linaro-6.3.1-2017.05-x86_64_arm-linux-gnueabihf.tar.xz

export      CROSS_COMPILE=$PWD/gcc-linaro-6.3.1-2017.05-x86_64_arm-
linux-gnueabihf/bin/arm-linux-gnueabihf-

git clone https://github.com/altera-opensource/u-boot-socfpga.git
cd u-boot-socfpga

git tag -l rel_socfpga*

git checkout rel_socfpga_v2013.01.01_17.08.01_pr

make socfpga_cyclone5_config
make
cd ..
```

Тепер u-boot.img згенеровано.

Далі необхідно написати скрипт завантажувача u-boot.scr.

Створюється файл boot.script із вмістом:

```
echo -- Programming FPGA --
fatload mmc 0:1 $fpgadata soc_system.rbf;
fpga load 0 $fpgadata $filesize;
run bridge_enable_handoff;
echo -- Setting Env Variables --
setenv fdtimage soc_system.dtb;
setenv mmcroot /dev/mmcblk0p2;
```

```
setenv mmcload 'mmc rescan;${mmcloadcmd} mmc 0:${mmcloadpart}
${loadaddr} ${bootimage};${mmcloadcmd} mmc 0:${mmcloadpart}
${fdtaddr} ${fdtimage}';
setenv mmcboot 'setenv bootargs console=ttyS0,115200 root=${mmicroot}
rw rootwait; bootz ${loadaddr} - ${fdtaddr}';
run mmcload;
run mmcboot;
```

І конвертується у файл u-boot.scr:

```
mkimage -A arm -O linux -T script -C none -a 0 -e 0 -n "Boot Script
Name" -d boot.script u-boot.scr
```

Тепер створюється образ microSD карти

```
sudo dd if=/dev/zero of=sdcard.img bs=512M count=1
sudo fdisk /dev/loop0
```

Необхідно створити 3 розділи на карті:

Device	Boot	Start	End	Sectors	Size	Id	Type
/dev/loop0p1		524288	1048575	524288	256M	b	W95 FAT32
/dev/loop0p2		4096	524287	520192	254M	83	Linux
/dev/loop0p3		2048	4095	2048	1M	a2	unknown

Запис передзавантажувача на карту:

```
sudo dd if=software/spl_bsp/preloader-mkpicimage.bin of=/dev/loop0p3
bs=64k seek=0
```

Запис файлів у FAT32 розділ:

```
mkdir temp_mount
sudo mount /dev/loop0p1 temp_mount/
sudo cp software/u-boot-socfpga/u-boot.img software/u-boot.scr
soc_system.dtb soc_system.rbf temp_mount/
sync
sudo umount temp_mount
```

Запис microSD карти:

```
sudo dd if=sdcard.img of=/dev/mmcblk0 bs=2048
sync
```

Далі викачується вихідний код ядра Linux і збирається у файл zImage чи uImage:


```
git clone https://gitlab.com/GuzTech/linux_socfpga.git
cd linux_socfpga
git checkout rel_socfpga-4.11_17.08.02_pr
```

Виконується конфігурація перед збиранням:

```
make ARCH=arm socfpga_defconfig
make ARCH=arm menuconfig
```

І сам процес збирання:

```
make ARCH=arm LOCALVERSION= zImage
```

Після цього залишається згенерувати файлову систему Linux за допомогою buildroot і busybox [17].

Потім zImage записується у FAT32 розділ карти. Файлова система записується у розділ Linux карти. Драйвер Linux – файл sdram_module.c збирається в об'єктний файл і записується у файлову систему Linux на microSD карту. Тепер microSD карта готова до використання, а драйвер до запуску.

Таким чином, повністю реалізований блок захоплення зображень на SoC Cyclone V із ARM процесором під управлінням ОС Linux.

Висновки по розділу 2:

Створено власний апаратний блок захоплення зображень на ПЛІС. Розроблена його структурно-функціональна організація. За допомогою системи на кристалі SoC Cyclone V із FPGA і ARM процесором реалізовано повний тракт захоплення, перетворення і зберігання відеокадрів. FPGA дозволяє підвищити швидкодію даної системи, а вбудований процесор під керівництвом ОС Linux-SocFPGA дозволяє сконфігурувати DDR3 контроллер і забезпечити запис і зчитування відеокадрів у фреймбуфері. Відеопотік виводиться на монітор через HDMI інтерфейс.

РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ GIGE VISION СУМІСНОЇ ВІДЕОКАМЕРИ У LINUX-SOCFPGA ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ БІБЛІОТЕКИ ARAVIS

3.1 Особливості реалізації GigE Vision на SoC Cyclone V

Для реалізації GigE Vision сумісної відеокамери на базі SoC Cyclone V необхідно використати вже розроблений блок захоплення зображень із відеосенсора, розробка якого була описана у попередньому розділі. Додається до цього реалізація пристрою передачі кадру UDP пакетами у мережу Ethernet за допомогою ARM процесору під управлінням ОС Linux і бібліотеки Aravis. Структурно-функціональна організація представлена на рисунку 3.1

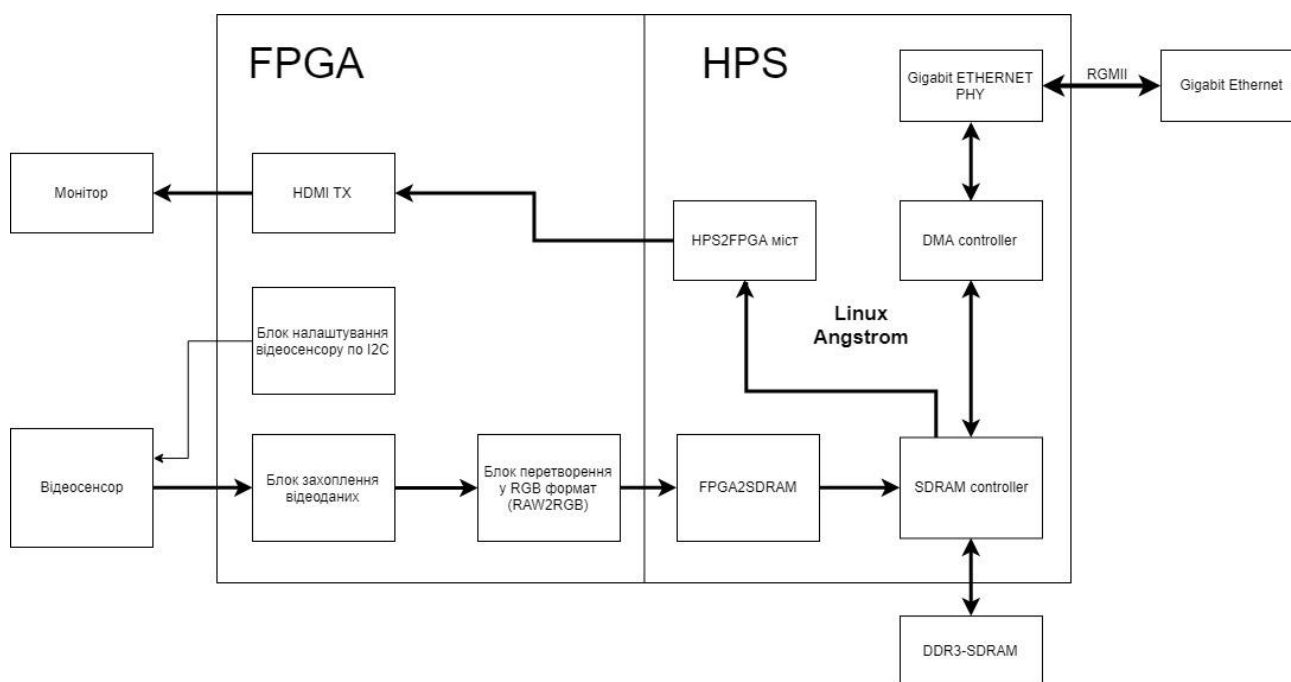


Рисунок 3.1 – Структурно-функціональна організація GigE Vision сумісної відеокамери

Із структурно-функціональної організації видно, що необхідною умовою для реалізації процесу передачі відеопотоку за технологією GigE Vision є наявність фізичного пристрою передачі – Gigabit Ethernet PHY. Саме такий пристрій наявний у SoC Cyclone V. На рисунку 3.2 можна побачити, що на відлагоджувальній платі DE10-Nano є необхідна SoC Cyclone V із реалізованим Gigabit Ethernet пристроєм передачі та можливістю підключення через RJ45

модуль до мережі Ethernet. Також є можливість підключення microSD карти із зібраним образом Linux. Блок захоплення зображень реалізовувався саме на базі цієї відлагоджувальної плати. Виходячи із цього прототип програмно-апаратної реалізації GigE Vision сумісної відеокамери створюватиметься теж на базі даної відлагоджувальної плати.

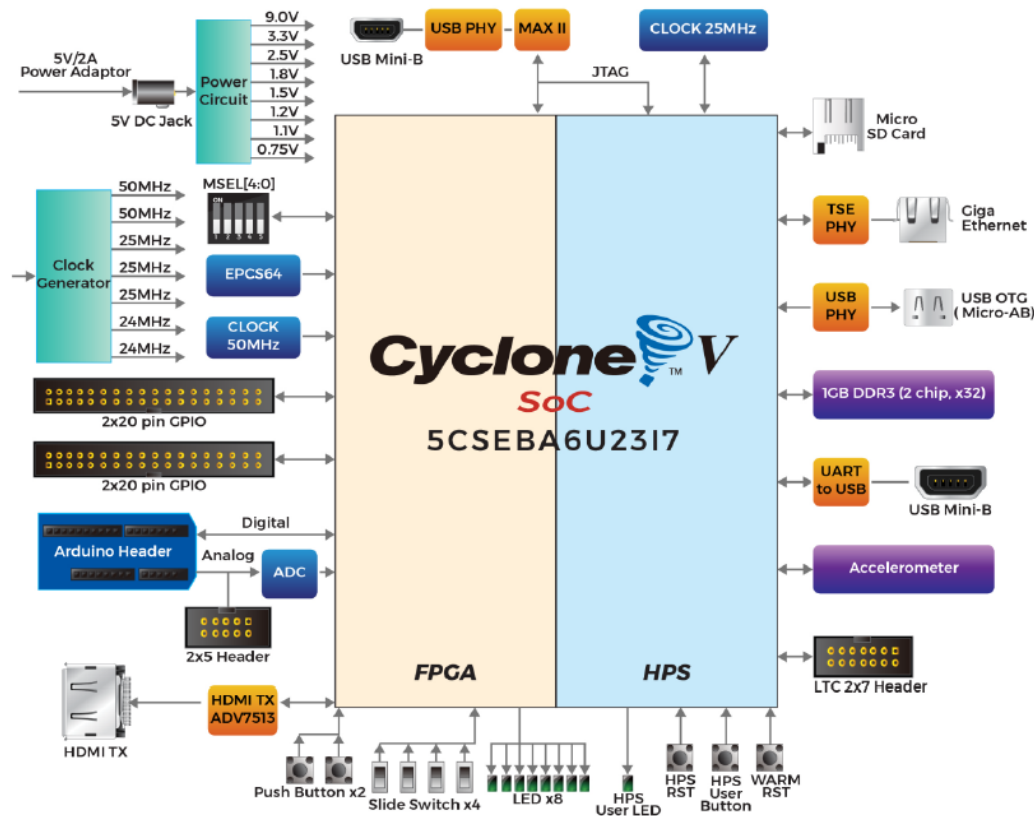


Рисунок 3.2 – Структурна схема плати DE10-Nano із SoC Cyclone V [18]

3.2 Бібліотека Aravis та модуль Fakecam

Aravis - бібліотека на основі glib / gobject для отримання відеозаписів за допомогою камер Genicam [19]. В даний час реалізовані гігабітні протоколи Ethernet і USB3, які використовуються промисловими камерами. Він також пропонує базовий симулятор Ethernet-камери та простий переглядач відео. Aravis випускається під LGPL v2 +. Розробка відбувається на Github . Aravis успішно пройшов тестування з камерами Basler, AlliedVision, Smartek та Dalsa.

Aravis - це бібліотека на основі GObject для управління та отримання відеопотоків цифрових камер.

Використовуючи файли GenICam xml для опису реєстрів камер, він не намагається бути повною реалізацією API Genicam, як описано в документі GenAPI GenICam. Тим не менш, знання стандарту GenICam повинно допомогти користувачеві зрозуміти, як працює Aravis.

В даний час Aravis пропонує реалізацію протоколу на базі UDP гігабітного Ethernet, знайденого в багатьох промислових камерах Ethernet.

ArvCamera - це простий API для легкого доступу до стандартних функцій камери.

ArvDevice і ArvGc - це більш низькі рівні API, які дозволяють повністю контролювати камери, дозволяючи використовувати функції, характерні для кожної моделі.

Бібліотека Aravis призначена для захоплення відеопотоків із різних пристроїв, що підтримують GigE Vision стандарт. Також ця бібліотека включає в себе інструменти – симулятор камери fakescam та звичайний переглядач відео. Симулятор fakescam використовується зазвичай для внутрішнього налагодження самої бібліотеки і генерує лише градієнтне зображення, проте він може бути змінений таким чином, щоб він почав передавати реальний відеопотік [20].

Для захоплення відеопотоку з блоку захоплення зображень використовується прикладний програмний інтерфейс Video4Linux.

Video4Linux є мультимедійним інтерфейсом, який має доступ до відео пристроїв і застосовується саме для потокового відео. Цей інтерфейс є відкритим і вільним у використанні. Використовуючи разом бібліотеку Aravis та інтерфейс Video4Linux можна захопити відеопотік і вивести його на екран чи передати у мережу Ethernet до приймача.

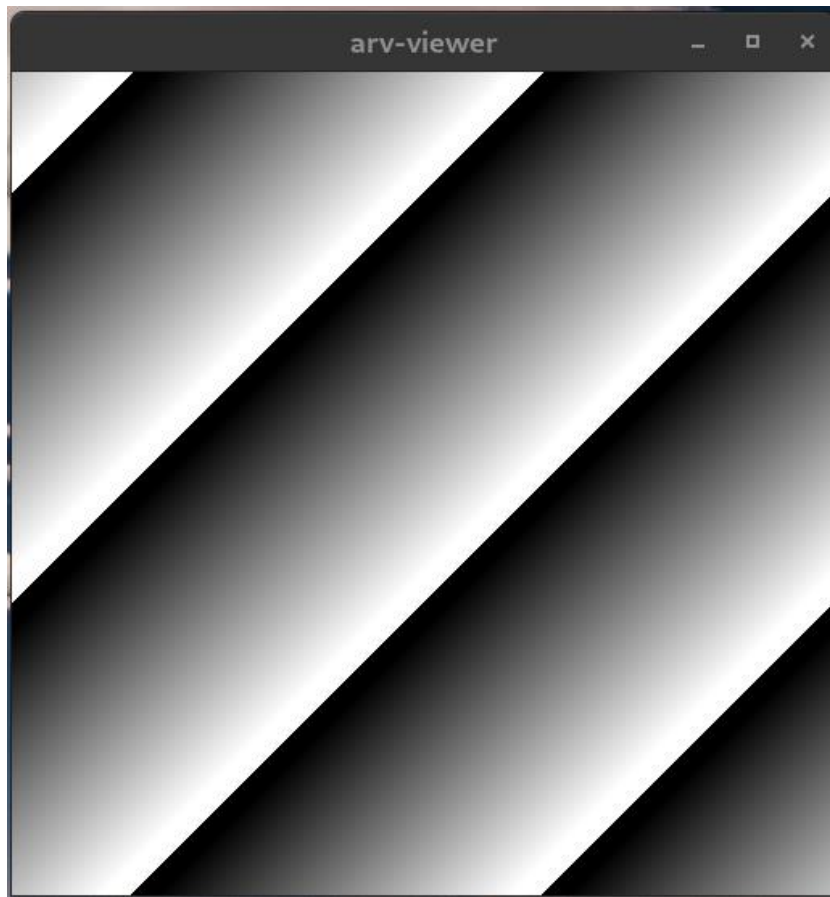


Рисунок 3.3– Градієнтне зображення модулю fakescam

Формат зображення з камери YUV422. Y –компонента яскравості; U,V-кольорові компоненти. 422 означає, що на 2 пікселі є 4 байти інформації. На один піксель приходить 1 байт компоненти яскравості і 1 байт кольорової компоненти. Для чорно-білого відео достатньо лише компоненти яскравості, решту компонент можна просто не зчитувати.

Код файлу arvfakegvcamera.cpp модулю fakescam:

Захоплення кадру із фреймбуферу

```
int read_frame(void *dst)
{
    struct v4l2_buffer buf;
    void *frame;

    CLEAR(buf);
```

```

buf.type    = V4L2_BUF_TYPE_VIDEO_CAPTURE;
buf.memory  = V4L2_MEMORY_MMAP;

if (-1 == xioctl(fd, VIDIOC_DQBUF, &buf)) {
    switch (errno) {
        case EAGAIN:
            return 0;
        case EIO:
            /* Could ignore EIO, see spec. */
            /* fall through */
        default:
            errno_exit("VIDIOC_DQBUF");
    }
}

assert(buf.index < n_buffers);
process_image(buf.index.start, dst,
buf.bytesused);
if (-1 == xioctl(fd, VIDIOC_QBUF, &buf)) {
    errno_exit("VIDIOC_QBUF");
}

return 1;
}

void capture(void *dst)
{
    for (;;) {
        fd_set          fds;

```

```

struct timeval tv;
int            r;

FD_ZERO(&fds);
FD_SET(fd, &fds);
/* Timeout. */
tv.tv_sec = 2;
tv.tv_usec = 0;

r = select(fd + 1, &fds, NULL, NULL, &tv);

if (-1 == r) {
if (EINTR == errno)
continue;
errno_exit("select");
}
if (0 == r) {
fprintf(stderr, "select timeout\n");
exit(EXIT_FAILURE);
}

if (read_frame(dst))
break;
}
}

static void start_capturing(void)
{
unsigned int i;

```

```

enum v4l2_buf_type type;

for (i = 0; i < n_buffers; ++i) {
    struct v4l2_buffer buf;

    CLEAR(buf);

    buf.type    = V4L2_BUF_TYPE_VIDEO_CAPTURE;
    buf.memory  = V4L2_MEMORY_MMAP;
    buf.index   = i;

    if (-1 == xioctl(fd, VIDIOC_QBUF, &buf))
        errno_exit("VIDIOC_QBUF");
}

type = V4L2_BUF_TYPE_VIDEO_CAPTURE;
if (-1 == xioctl(fd, VIDIOC_STREAMON, &type))
    errno_exit("VIDIOC_STREAMON");
}

static void stop_capturing(void)
{
    enum v4l2_buf_type type;

    type = V4L2_BUF_TYPE_VIDEO_CAPTURE;
    if (-1 == xioctl(fd, VIDIOC_STREAMOFF, &type))
        errno_exit("VIDIOC_STREAMOFF");
}

```

Обработка кадру


```

void process_image(const void *src, void *dst, int size)
{
char *p_src, *p_dst;
int i;

//sprintf(filename, "frame-%d.pgm", frame_number);
//printf("Writing frame %d (size=%d, buff=%p)\n",
frame_number, size, p);
//FILE *fp=fopen(filename, "wb");
p_dst = (char *)dst;
p_src = (char *)src;
while (p_src < (char *)src + size) {
*p_dst = *p_src;
p_dst += 1;
p_src += 2;
}
//fprintf(fp, "P5\n%d %d 255\n", 640, 480);
//fwrite(buff, size / 2, 1, fp);
}

```

p_src – адреса джерела кадру, збільшується на 2, щоб зчитувати лише яскравість і відкидати кольорову компоненту, а p_dst – адреса в фреймбуфері.

Після цього оброблений кадр записується у буфер кадрів, який далі використовує бібліотека Aravis.

Бібліотека чекає сигналу від Video4Linux про те, що кадр завантажений у буфер і після його отримання миттєво починає надсилати його у мережу Ethernet. Після відправки модуль переходить в режим очікування сигналу про отримання кадру Video4Linux.



Рисунок 34 – Зчитування відеопотоку GigE Vision за допомогою бібліотеки Aravis та прикладного інтерфейсу Video4Linux

3.3 Аналіз отриманих результатів

Роздільна здатність кадрів 640x480 пікселів, частота їх зміни – 90 к/с. Пропускна здатність каналу для передачі відеопотоку складає [21]:

$$C = m \cdot n \cdot f \cdot b \cdot \frac{MTU}{MTU - k} \cdot 10^{-6} = \quad (3.1)$$

$$= 480 \cdot 640 \cdot 90 \cdot 8 \cdot \frac{1500}{1500 - 28} \cdot 10^{-6} = 225,4 \text{ (Мб/с)}$$

де m – висота кадру; n – ширина кадру; f – частота кадрів; b – кількість бітів для градації сірого; MTU – максимальний розмір даних одного пакету в байтах; k – кількість службової інформації в байтах.

Так як відеопотік GigE Vision передається в UDP пакетах $k = 28$ байт: 8 байт UDP-заголовок і 20 байт IP-заголовок [22]. Стандартне значення MTU = 1500 байт. Необхідна для передачі відеопотоку пропускна здатність становить 225,4 Мб/с

Пропускна здатність каналу передачі у Gigabit Ethernet мережі – 1000Мб/с, і її цілком вистачає для передачі відеопотоку роздільною здатністю 640x480 із частотою кадрів 90 к/с. Відео на приймальному пристрої відображається без пошкоджень та зміна кадрів відбувається плавно, без різких стрибків, що свідчить про низьку затримку між передачею відеокadrів.

Поставлена задача даної роботи цілком виконана. Отримано повноцінну програмно-апаратну реалізацію GigE Vision сумісної відеокамери. Отримана система передачі відеопотоку характеризується високою надійністю та низькою затримкою передачі відеокadrів в результаті експериментальних досліджень. Наведені вище розрахунки завантаженості каналу передачі підтверджують те, що кадри передаватимуться із мінімальною затримкою, оскільки гігабітний канал передачі дозволяє передавати дані із швидкістю, майже у 5 разів вищою, ніж теоретично розрахована.

Подальшим напрямком досліджень може бути реалізація алгоритму пофрагментної передачі кадрів задля мінімізації затримки передачі кадрів.

Висновки по розділу 3:

Створено програмно-апаратну реалізацію GigE Vision сумісної відеокамери за допомогою SoC Cyclone V, відеосенсору OV5640, бібліотеки Aravis та ОС Linux. Використовуючи ПК із Linux ОС, було реалізовано приймач відеопотоку у мережі Ethernet за стандартом GigE Vision за допомогою бібліотеки Aravis та

стандартного прикладного інтерфейсу Video4Linux. Таким чином, було продемонстровано процес передачі відеопотоку від реалізованої відеокамери до приймача – ПК у мережі Ethernet. На основі спостережень та експериментальних досліджень можна стверджувати, що створена система передачі відеопотоку є досить надійною та швидкою. Затримка між передачею відеокадрів не є великою. Канал Gigabit Ethernet повністю справляється із навантаженням, оскільки його пропускна здатність є більшою за необхідну для передачі відеокадрів.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ НА ОСНОВІ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

4.1 Опис ідеї проекту

Апаратно-програмна GigE Vision сумісна відеокамера використовується для побудови систем технічного зору, систем безпеки і охорони, для контролю якості продукції під час процесу виробництва, для виявлення порушень ПДР, в оборонній сфері, а також у мультимедійних технологіях. Ідея проекту полягає у створенні системи відеоспостереження, яка може включати в себе необмежену кількість таких камер, завдяки створенню мережі, в якій є центральний вузол, який обробляє дані і керує всіма камерами в реальному часі. Очікується що дана система відеоспостереження буде мати значну популярність та широке коло споживачів, як у приватному, так і в державному секторі, що забезпечить успішність комерціалізації проекту.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Вигоди для користувача</i>
Створення системи відеоспостереження	1. Автоматизація контролю якості продукції	Своєчасне виявлення збоїв у процесі виробництва, менша кількість неякісної продукції.
	2. Система виявлення порушень ПДР водіями	При використанні камер з високою роздільною здатністю, система краще розпізнає цільові об'єкти – номерні знаки

Висновки: в таблиці 4.1 представлено основні напрямки використання запропонованої системи відеоспостереження. Споживачами даної продукції можуть бути як виробництва, для покращення надійності автоматизованого виробництва, так і Національна поліція, для створення високоякісних систем комп'ютерного зору для виявлення порушень ПДР водіями.

Конкурент 1: камера " IMPERX ".

Конкурент 2: камера " Pleora ".

Конкурент 3: веб-камера " Basler ".

Таблиця 4.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко- економічні характерист ики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W	N	S
		Мій проект	Конкурент 1	Конкурент 2	Конкурент 3			
1	Собівартість	3400 у.о.	20000 у.о.	22000 у.о.	10000 у.о.			+
2	Максимальна роздільна здатність	1920 х 1080	2048 х 1544	659 х 490	720 х 540			+
3	Зручність підключення	Висока	Низька	Середня	Низька			+
4	Споживання	12	6	5	5	+		

В таблиці 4.2 W – слабка сторона, N – нейтральна сторона, S – сильна сторона.

Висновки: У порівнянні з конкурентами проект має перевагу у вищій роздільній здатності зображення та собівартості виготовлення.

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ n/n	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Підвищення надійності передачі	Передача нестиснутого відео	Наявна	Доступна
2.	Використання SoC платформи	Використання розробленого програмно-апаратного комплексу	Наявна	Доступна
За основу необхідно взяти перший пункт, так як його використання дозволить продукту отримати значну перевагу на ринку відносно конкурентів.				

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Таблиця 4.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ n/n	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	50000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	45%

Висновки: проаналізувавши таблицю 5. можна зазначити, що вихід на ринок є рентабельним, так як мала кількість гравці на ринку, що свідчить про низьку

конкуренцію, та високий відсоток рентабельності, що дає змогу швидко покрити витрачені кошти на розробку пристрою.

Таблиця 4.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

<i>№ п/п</i>	<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i>	<i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
1.	Підвищення надійності передачі відео	Промислові підприємства, правоохоронні органи	Вимоги до якості та надійності зображення	Висока роздільна здатність зображення, висока надійність передачі

Висновки: формування ринку визначається потребою збільшення надійності систем передачі відео. Основними споживачами продукту є усі підприємства та установи, які прагнуть збільшити автоматизацію процесів, які використовуються. Тому головними вимогами до товару є висока якість зображення та надійність роботи.

Таблиця 4.6 – Фактори загроз

<i>№ п/п</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1.	Економічний	Економічний стан країни-виробника	Зміна країни виробника
2.	Якісний	Не належна якість зібраного приладу	Зміна технологічних процесів виробництва
3.	Вартість комплектуючих	Підвищення закупівельної вартості комплектуючих	Пошук нових постачальників

Продовження таблиці 4.6

4.	Конкуренція	Ім'я конкурентів є більше відомим на ринку	Проведення потужної рекламної кампанії
5.	Політичний	Політична ситуація країни виробника	Зміна країни виробника

Висновки: основними факторами загрози є конкуренція та економічно-політичний стан країни виробника. Існуючі товари вже мають певне ім'я, репутацію та об'єми виробництва. Також економічна та політична ситуація країни-виробника може зіграти значну роль у втраті прибутку

Таблиця 4.7 – Фактори можливостей

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1.	Збільшення попиту	Різке збільшення зацікавленості до продукту	Підвищення виробництва
2.	Новітні технології	Можливість створення систем з підвищеною якістю мереж у повсякденному	Співпраця з іншими компаніями в даній сфері
3.	Індивідуальне замовлення	Можливість додавати індивідуальні потреби для клієнтів	Проведення аналізу раціональності замовлення та можливість укладання нового контракту із заданими потребами

Продовження таблиці 4.7

4.	Кооперація із лідерами ринку	Конкуренти запропонували об'єднання компаній	Оцінка можливих переваг та ризиків об'єднання
----	---------------------------------	--	--

Висновки: сфера комп'ютерного зору стрімко розвивається. Автоматизація процесів, яка потребує візуального спостереження, вводиться всюди, що спричиняє зростання клієнтів на ринку, які в свою чергу збільшують попит, на запропоновану систему в тому числі. Це призведе до збільшення об'ємів виробництва та заключення великої кількості контрактів, що в свою чергу створює вигідні економічні можливості для дослідження нових технологій, та покращення існуючої системи.

Таблиця 4.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможно ю)</i>
1. Вказати тип конкуренції - олігополія	На ринку присутня невелика кількість фірм, які займаються виробництвом такого типу систем, але у кожної є свої відмінності у характеристиках продукту.	Підвищувати якість товару за рахунок використання передових розробок та залучення кваліфікованого персоналу

Продовження таблиці 4.8

2. За рівнем конкурентної боротьби - міжнародний	Місцезнаходження фірм не обмежується територіально; лабораторії та офіси розміщено у різних країнах в залежності від поставок	Створити веб-сайт компанії, укласти договори поставок на міжнародний ринок
3. За галузевою ознакою міжгалузева	Використання у різних галузях	Проведення потужної рекламної кампанії
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Конкуренція між товарами одного виду	Покращувати якість товару
5. За характером конкурентних переваг - цінова	Основним є ціна товару	Продаж товару по нижчій ціні
6. За інтенсивністю - марочна	Боротьба носить явно виражений марочний характер	Реклама товару, створення символіки продукту

Висновки: ринок є конкурентним, міжнародним та міжгалузевим.
Конкуренція за видами товарів – товарно-видова

Таблиця 4.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	<i>Прямі конкуренти в галузі</i>	<i>Потенційні конкуренти</i>	<i>Постачальники</i>	<i>Клієнти</i>	<i>Товари-замінники</i>
<i>Складові аналізу</i>	“Imperx”, “Pleora”, “Basler”	Logitech, Partizan	Товар продається безпосередньо розробниками	Державний та приватний сектори	ІР-камери
<i>Висновки</i>	Конкуренція є низькою.	Вихід на ринок є відносно простим. Наявні потенційні конкуренти	Постачальники не диктують умови роботи на ринку	Товар має бути якісним	Менша надійність

Для того, щоб бути конкурентоспроможним на ринку для розробки товару потрібно залучати висококваліфікованих спеціалістів.

Таблиця 4.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

<i>№ п/п</i>	<i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)</i>
1.	Собівартість	Низька собівартість – більша доступність кінцевого пристрою
2.	Якість	Краща якість даних в порівнянні з конкурентами
3.	Надійність	Вища надійність процесу передачі відео

Висновки: використання SoC платформи та бібліотеки Aravis сильно знижує вартість продукту, що в свою чергу робить систему конкурентноспроможною

Таблиця 4.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ n/n	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з “ GVision ”						
			–3	–2	–1	0	+1	+2	+3
1	Собівартість	19		+					
2	Якість	15					+		
3	Надійність	18			+				

Висновки: аналізуючи таблицю 4.11 можна зробити висновок, що запропонований пристрій має більший рейтинг відносно головного конкурента. Дана таблиця демонструє основні особливості продукту, які відрізняють його від основного конкурента

Таблиця 4.12 – SWOT- аналіз стартап-проекту

<p><i>Сильні сторони:</i></p> <p>Низька ціна товару</p> <p>Гарна якість даних</p> <p>Висока надійність</p>	<p><i>Слабкі сторони:</i></p> <p>Високе енергоспоживання</p>
<p><i>Можливості:</i></p> <p>Вихід на міжнародний ринок</p> <p>Збільшення попиту</p>	<p><i>Загрози:</i></p> <p>Конкуренція</p> <p>Економічна нестабільність</p> <p>Політична нестабільність</p>

Таблиця 4.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки</i>	<i>Ймовірність отримання ресурсів</i>	<i>Строки реалізації</i>
1.	Максимізація власного виграшу (індивідуалізм)	75 %	2 роки
2.	Максимізація спільного виграшу (кооперація)	90%	3 роки
3.	Суперництво	60%	3 роки

Висновки: було обрано кооперацію, як альтернативну ринкову поведінку, так як за відносно не високий термін існує велика ймовірність отримання ресурсів.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Таблиця 4.14 Вибір цільових груп потенційних споживачів

<i>№ n/n</i>	<i>Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів</i>	<i>Готовність споживачів сприйняти продукт</i>	<i>Орієнтовни й попит в межах цільової групи (сегменту)</i>	<i>Інтенсивність конкуренції в сегменті</i>	<i>Простота входу у сегмент</i>
1.	Державний сектор	Не готові	Високий	Висока	Низька
2.	Приватні підприємства	Готові	Високий	Середня	Середня

Які цільові групи обрано: обрано цільову групу №2 – Приватні підприємства.

Таблиця 4.15 – Визначення базової стратегії розвитку

<i>№ n/n</i>	<i>Обрана альтернатива розвитку проекту</i>	<i>Стратегія охоплення ринку</i>	<i>Ключові конкурентоспромо жні позиції відповідно до обраної альтернативи</i>	<i>Базова стратегія розвитку</i>
1.	Індивідуалізм	Стратегія недиференційова ного маркетингу	Адаптація до вимог ринку Використання новацій	Стратегія спеціалізації

Висновки: через існування на ринку більш сильних та розкручених гравців було обрано стратегію розвитку спеціалізація.

Таблиця 4.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

<i>№ n/n</i>	<i>Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?</i>	<i>Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?</i>	<i>Чи буде компанія копіювати основні характеристик и товару конкурента, і які?</i>	<i>Стратегія конкурентної поведінки*</i>
1.	Ні	Так, і те, і інше	Компанія не буде копіювати основні характеристики конкурента	Стратегія виклику лідера

Висновки: оскільки на ринку вже є проекти-конкуренти, компанія може обрати стратегію виклику лідера, так як проект має переваги.

Таблиця 4.17 – Визначення стратегії позиціонування

<i>№ n/n</i>	<i>Вимоги до товару цільової аудиторії</i>	<i>Базова стратегія я розвитку</i>	<i>Ключові конкурентоспромо жні позиції власного стартап- проекту</i>	<i>Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)</i>
1.	Якість даних	Стратегія спеціалізації	Якість	Висока якість зображення

Висновки: підвищення якості зображення підвищує рівень довіри споживача до продукту.

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Таблиця 4.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба</i>	<i>Вигода, яку пропонує товар</i>	<i>Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)</i>
1.	Введення надійної системи передачі відео на базі SoC	Менша ціна товару	Ціна, надійність

Висновки: визначившись з основними перевагами концепції товару, можливе створення відповідної рекламної кампанії для кінцевих клієнтів.

Таблиця 4.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I.Товар за задумом	Пристрій дає змогу передавати відео з підвищеною надійністю та якістю зображення.		
II.Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Якість зображення	1920	Тх
		х	
		1080	
		пікселів	
	Якість: роздільна здатність зображення 1920х1080		
Пакування: прилад, блок живлення, USB-кабель, документація користувача та гарантійний талон			
Марка: "GVision"			
III.Товар із підкріпленням	До продажу: комплектація яку вимагає замовник.		
	Після продажу: сервіс, гарантія, обслуговування.		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: захист інтелектуальної власності шляхом патентування.			

Висновки: шляхом патентування товару створюється захист від його копіювання. Також закладені характеристики на другому рівні товару роблять його досить унікальним та конкурентоспроможним.

Таблиця 4.20 – Визначення меж встановлення ціни

<i>№ п/п</i>	<i>Рівень цін на товари- замінники</i>	<i>Рівень цін на товари- аналоги</i>	<i>Рівень доходів цільової групи споживачів</i>	<i>Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу</i>
1.	800-2000 у.о.	10000 – 22000 у.о.	100000 у.о. і вище	6000 – 10000 у.о.

Висновки: обрано середню категорію цін, адже занадто велика ціна відлякує споживачів, проте занадто низька ціна може навести на думку, що товар не є належної якості

Таблиця 4.21 – Формування системи збуту

<i>№ n/n</i>	<i>Специфіка закупівельної поведінки клієнтів</i>	<i>Функції збуту, які має виконувати постачальник товару</i>	<i>Глибина каналу збуту</i>	<i>Оптимальна система збуту</i>
1.	Замовлення товару на сайті або безпосередньо у розробників	Встановлення контакту, інформування, поділ, зберігання, сортування	Канал нульового рівня	Виробник безпосередньо збуває продукцію покупцям

Висновки: основним каналом збуту є продаж товару. На старті компанії очікуються відносно невеликі об'єми виробництва, тому на даному етапі можливо обійтись без посередників, і продавати товар напряму клієнтам. Саме тому було обрано нульовий рівень глибини каналу збуту та пряму систему збуту.

Таблиця 4.22 – Концепція маркетингових комунікацій

<i>№ n/n</i>	<i>Специфіка поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти</i>	<i>Ключові позиції, обрані для позиціонування</i>	<i>Завдання рекламного повідомлення</i>	<i>Концепція рекламного звернення</i>
------------------	--	---	---	---	---

Продовження таблиці 4.22

1.	Використання товару у масових виробничих процесах	Прямі - канал комунікації, коли інформація передається безпосередньо від інформатора до інформованої особи	Низька ціна, проста та зрозуміла інструкція використання.	Поширення знань про підприємство, підтримання позитивних емоцій у осіб, що придбали товар, поширення відомостей про сервіс, демонстрація солідарності підприємств, безумовного виконання взятих на себе зобов'язань;	Звернення засноване на відмінностях між рекламованим товаром і тим, що пропонують конкуренти.
----	---	--	---	--	---

Висновки: маркетингова кампанія відбувається за рахунок соціальних мереж та цільових рекламних кампаній.

Висновки до розділу 4

В даному розділі розроблено перший етап створення стартап проекту. Розкрито зміст ідеї проекту. Розглянуто можливі області застосування проекту та очікуваний ефект. Також розглянуті ризики реалізації продукції та способи їх подолання. Аналіз сильних та слабких сторін дає можливість визначити аспекти, на які слід зробити ставку. Проведено технічний аудит проекту, визначені технології, які використовуватимуться. Запропоновані технології вже доступні на ринку. Проведено аналіз усіх аспектів ринку який показав, що реалізація проекту можлива в реальних умовах, проте слід враховувати, що на ринку уже існують компанії з досить високою репутацією, що може зіграти негативну роль у впровадженні проекту. Для уникнення провалу проекту, потрібно провести потужну рекламну кампанію, в якій донести до споживача усі переваги даного проекту, та необхідність обрати саме запропонований продукт.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено актуальну та важливу науково-прикладну задачу побудови надійної системи передачі відеопотоку із мінімальною затримкою передачі відеокадрів завдяки програмно-апаратній реалізації на базі FPGA. Під час виконання дисертаційної роботи отримано наступні наукові та практичні результати:

1. Проведено аналіз існуючих інтерфейсів передачі відео на відстань. Проаналізовано аналогові, цифрові та цифрові мережеві варіанти. Визначено переваги і недоліки усіх варіантів рішень. За сукупністю параметрів, таких як надійність, затримка та дальність передавання відео встановлено, що однією з найбільш перспективних технологій є протокол GigE Vision, який і обрано в якості основи для створення прототипу власної камери для передавання відеопотоку.

2. На ПЛІС розроблено власний апаратний блок захоплення зображень, що виконує первинне отримання кадрів із відеосенсора. Зокрема, даний блок реалізує на FPGA процедуру захоплення відеокадрів із сенсора OV5640 через 8-бітну шиною даних, перетворення та збереження даних у фреймбуфері, розташованому в DDR3-SDRAM пам'яті. Таке рішення дозволяє досягти значної гнучкості та за рахунок апаратної оптимізації мінімізувати затримки передавання кадрів із сенсора у пам'ять. Тестування блоку виконано на основі програмної реалізації на ARM-процесорі, що працює під управлінням ОС Linux-SocFPGA. Відображення оброблених відеоданих виконується на звичайному моніторі, для чого у FPGA реалізовано HDMI інтерфейс.

3. Створено програмно-апаратну реалізацію GigE Vision сумісної відеокамери на SoC Cyclone V, що дозволило вирішити задачу підвищення надійності та мінімізації затримки в процесі передачі відеокадрів за рахунок створення високошвидкісної системи передачі потокового відео за технологією

GigE Vision внаслідок використання SoC FPGA Cyclone V із вбудованим ARM процесором під керуванням ОС Linux та бібліотеки Aravis. Прототип розробки реалізований на відлагоджувальній платі DE10-Nano. Даний результат залишає ресурс для подальшого вдосконалення системи.

4. Розроблено та проаналізовано стартап-проект, який довів доцільність комерціалізації проекту програмно-апаратної GigE Vision сумісної відеокамери.

За темою дисертаційного проекту підготовано та опубліковано тези у збірнику статей XVIII міжнародної науково-технічної конференції “ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи”.

Вищевказане дозволяє зробити висновок, що завдання на магістерську дисертацію виконано у повному обсязі, а її мета досягнута.

Список використаної літератури

1. Л. А. Пономаренко, Як підготувати і захистити дисертацію на здобуття наукового ступеня. Методичні поради — К.: Редакція «Бюлетеня Вищої атестаційної комісії України», Видавництво «Толока», 2001. - 80 с.
2. [Електронний ресурс] – режим доступу:
<https://www.baslerweb.com/ru/vision-campus/interfeisy-i-standarty/usb3-interfejs-budushhego/>
3. The 1394 Trade Association, [Електронний ресурс] – режим доступу:
<http://1394ta.org/>
4. [Електронний ресурс] – режим доступу:
<https://www.baslerweb.com/ru/vision-campus/interfeisy-i-standarty/what-is-coaxpress/>
5. CoaXPress Standard, [Електронний ресурс] – режим доступу:
http://jiia.org/wp-content/themes/jiia/pdf/standard_dl/coaxpress/CXP-001-2015.pdf
6. SDI standart, [Електронний ресурс] – режим доступу:
<https://www.smppte.org/standards>
7. Camera Link standart, [Електронний ресурс] – режим доступу:
<http://www.imagelabs.com/wp-content/uploads/2010/10/CameraLink5.pdf>
8. [Електронний ресурс] – режим доступу:
<http://www.kvmtech.ru/knowledge/1701.html>
9. GigE Vision standart, [Електронний ресурс] – режим доступу:
<https://www.visiononline.org/vision-standards-details.cfm?type=5>
10. [Електронний ресурс] – режим доступу:
<https://www.visiononline.org/vision-standards-details.cfm?type=5>
11. Стандарт IEEE 802.3 2015, [Електронний ресурс] – режим доступу:
<https://standards.ieee.org/getieee802/802.3.html>

12. Карачок Б. П., Варфоломєєв А. Ю, Апаратний блок захоплення зображень із відеосенсора реалізований на ПЛІС // Збірник статей XVIII міжнародної науково-технічної конференції “ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи”. – Київ, 2019, - С.52-53.
13. OV5640, [Електронний ресурс] – режим доступу: https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/LightImaging/OV5640_datasheet.pdf
14. Проект EM076 InnovateFPGA[Електронний ресурс] – режим доступу: <http://www.innovatefpga.com/cgi-bin/innovate/teams2018.pl?Id=EM076>
15. [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://rocketboards.org/foswiki/Documentation/GSRDCompilingLinux>
16. [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://github.com/altera-opensource/u-boot-socfpga>
17. [Електронний ресурс] – режим доступу: https://bitlog.it/20170820_building_embedded_linux_for_the_terasic_de10-nano.html
18. DE10-Nano User Manual [Електронний ресурс] – режим доступу: http://www.innovatefpga.com/portal/assets/pdf/DE10_Nano_Product_Brief.pdf
19. Aravis project, [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://aravisproject.github.io/docs/aravis-0.4/aravis-introduction.html>
20. Варфоломєєв А. Ю., Марченко В. І., Ходнєв Т. А., «Програмно-апаратна реалізація відеокамери, сумісної зі стандартом GigE Vision» науково-технічний журнал «Мікросистеми, Електроніка та Акустика» 2018р.
21. В.І. Марченко А.Ю. Варфоломєєв, "Система надійної передачі відео через Ethernet протокол [The System for Robust Video Streaming Over Ethernet Protocol]," in XI International Scientific and Technical Conference of Young Scientists "Electronics-2018", Kyiv, 2018. pp.153–156.

[Електронний ресурс] – режим доступу: http://elconf.kpi.ua/wp-content/uploads/2018/06/збірник-26_06_2018.pdf

22. Семенов Ю. А. Протокол UDP, [Електронний ресурс] – режим доступу: http://book.itp.ru/4/44/udp_442.htm

ДОДАТОК А

УДК 004.35

АПАРАТНИЙ БЛОК ЗАХОПЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ІЗ ВІДЕОСЕНСОРА РЕАЛІЗОВАНИЙ НА ПЛІС

Карачок Б.П.

E-mail: stave127@gmail.com

Варфоломєєв А.Ю.

E-mail: a.varfolomeiev@kpi.ua

Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури, Факультет електроніки Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна.

В багатьох задачах обробки та передачі відеоінформації критичним є її отримання від оптичного сенсора із мінімальною затримкою. Для забезпечення цієї вимоги, запропоновано власний апаратний блок захоплення зображень із відеосенсора, реалізований на ПЛІС. Особливість даної реалізації полягає у застосуванні так званої SoC системи, в якій наявні ПЛІС (на основі технології FPGA) та апаратний ARM-процесор. Зокрема, у FPGA частині створено тракт низькорівневої обробки відеоданих (див. рис. 1), модулі якого реалізовано на мові Verilog. В якості джерела відео використовується 5-мегапіксельний CMOS сенсор, налаштування якого здійснюється через шину I2C за допомогою відповідного блоку розміщеного у FPGA частині. Серед основних налаштувань відеосенсора використовуються: формат кодування відеоданих, роздільна здатність, частота кадрів та експозиція. Блок захоплення виконує синхронізацію та початкове отримання відеоданих від сенсора у форматі Bayer RGB та передає отриману інформацію на модуль, що здійснює перетворення сирого Bayer у повноцінний RGB формат. Перетворені дані, далі за допомогою інтерфейсу FPGA2SDRAM надходять до спільного з ARM-процесором буферу кадру, розміщеного у DDR3 пам'яті. Для забезпечення більшої зручності та гнучкості, подальша обробка відеоданих здійснюється програмно за допомогою бібліотеки OpenCV на ARM-процесорі, що працює під управлінням ОС Angstrom Linux. Відображення оброблених відеоданих виконується на звичайному моніторі, для чого у FPGA реалізовано HDMI інтерфейс.

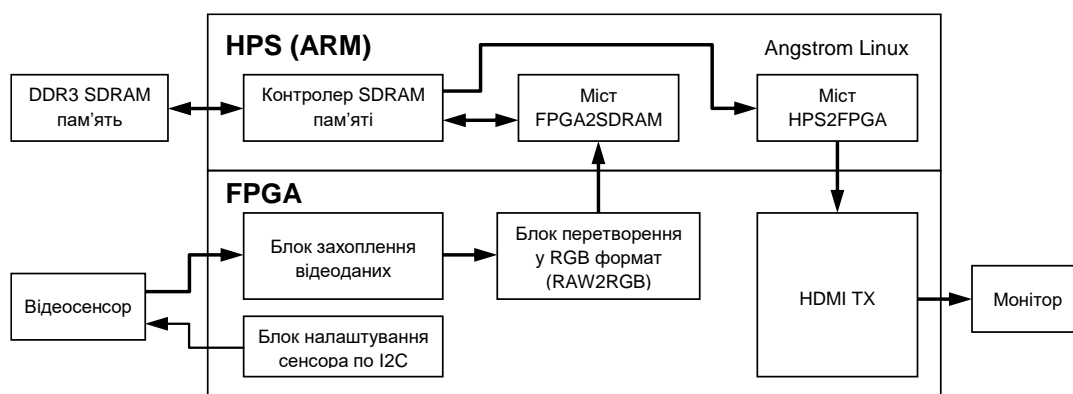


Рис. 1 Структурна схема блоку захоплення зображень із відеосенсора

Ключові слова: відеосенсор, ПЛІС, захоплення відеоданих, ARM, FPGA